

УДК 623.746-519 [623.466.3:629.7.016]

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.3\(43\).67-73](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.3(43).67-73)

В. М. КОРОЛЬОВ, доктор технічних наук,
професор
<https://orcid.org/0000-0001-8421-584X>

С. Л. ГОЛУШКО
<https://orcid.org/0000-0003-1585-8504>
(Національна академія сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного,
м. Львів)

ВАРІАНТ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НИЗЬКОЛІТАЮЧОЇ ПЛАТФОРМИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇЇ ЗОВНІШНЬО-ТРАЄКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Для визначення просторових координат різних літаючих об'єктів використовуються різноманітні методи. Одним із таких методів є визначення координат за допомогою тригонометричних співвідношень із застосуванням результатів зовнішньо-траєкторних вимірів. Відповідно до результатів вимірів та згідно припущень, що зроблено, визначаються координати літаючої платформи та її параметри руху шляхом рішення геометричної задачі за розробленим алгоритмом. Такий підхід забезпечить визначення координат, швидкості, напрямку руху літаючої платформи, яка переміщується в будь-якому напрямку відносно системи відліку, що обрано.

Ключові слова: зовнішньо-траєкторні виміри, координати, літаюча платформа, оптичний прилад, повітряна ціль, траєкторія.

ВСТУП

Сфера застосування літаючих платформ (ЛП) на сьогоднішній день дуже поширена. Виробники провідних компаній світу постійно модернізують ЛП, що дозволяє більш практично їх застосовувати в різних галузях промисловості, а особливо у військовій сфері.

Широке залучення цих засобів призвело до важливих змін у тактиці і стратегії війн сьогодення. Військові експерти рахують, що сучасний рівень їх розвитку є найважливішим досягненням останніх десятиліть та використання в належних цілях є пріоритетом в усьому світі [1]. Звідси постає необхідність розробки послідовних правил і стандартів, які, з одного боку, забезпечать простір для розвитку технологій та широкого застосування ЛП, з іншого, забезпечать безпеку громадян та інфраструктури, що має ключове значення для безпеки кожної держави.

Російсько-українська війна стала першим конфліктом, у якому обидві сторони масово використовують ЛП різних видів. Вони використовуються для розвідки, ко-

ригування вогню артилерії, ураження особового складу, техніки та об'єктів інфраструктури. На території України їх вперше застосовують в умовах активної протидії протиповітряній обороні Збройних Сил України. Масове застосування та дешевизна відносно інших засобів повітряного нападу дозволяють використовувати ЛП дуже ефективно та займає перше місце по ураженню об'єктів та військової техніки.

Як показує досвід війни РФ проти України, ураження малих за розмірами ЛП засобами протиповітряної оборони мало ефективно у зв'язку з тим, що вони є нехарактерними цілями для зенітно-ракетних комплексів. Застосування декількох ешелонованих нальотів груп малих та відносно дешевих літаючих платформ істотно ускладнює функціонування комплексів системи протиповітряної оборони. Вони характеризуються малими значеннями ефективного відображення поверхні та швидкості, що робить їх цілями, які важко виявити [1]. Вже сьогодні групове застосування ЛП стає серйозним фактором для досягнення військової переваги малими затратами.

На сьогоднішній день вже запропоновано багато шляхів рішення проблеми щодо протидії ЛП, проте вони не враховують питання економічної ситуації і технологічної сторони питання. Тому при розробці технічних рішень і тактичних прийомів потрібно враховувати можливість використання існуючих на озброєнні Збройних Сил України засобів та часових факторів для розробки нових засобів протидії.

Для організації боротьби з цими засобами насамперед необхідно забезпечити їхнє достовірне виявлення. Важливою задачею щодо ефективного виявлення ЛП є необхідність визначення її координат та траєкторії руху з відповідними параметрами, однак для цього потрібні точні координати просторового розташування даної цілі [1]. Розробка різних методів та способів ідентифікації та визначення координат літаючих платформ є на сьогоднішній день актуальним завданням щодо контролю та протидії цим засобам.

АНАЛІЗ ОСТАНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питанням визначення кінематичних параметрів літаючої платформи (ЛП) із застосуванням зовнішньо-траєкторних вимірів присвячено численні публікації, як вітчизняних, так і закордонних авторів.

У роботі [2] проведений порівняльний аналіз існуючих методів визначення координат і швидкості рухомих об'єктів за допомогою супутникової навігації та представлений дальномірний та псевдодальномірний методи навігаційних задач. Проблемним питанням цих методів є неоднозначність визначення координат споживача, необхідність точної прив'язки показників часу заміру та невисока точність у визначенні самих координат при високостабільному еталоні частоти, яка приводить до додаткових похибок виміру швидкості руху та координат цілі.

У роботі [3] запропонований метод визначення координат об'єктів в прямокутній системі координат шляхом візування кутового положення об'єкта навігаційною системою з рухомого носія та отримано математичні вирази для розрахунку координат об'єкта в системі пря-

мокутних координат на основі багатократного вимірювання тільки однієї координати курсу, але це не дозволяє здійснити багаторазове вимірювання координат на всіх точках, що фіксуються, та не дає змоги повністю розкрити всіх можливих варіантів виміру цілі в кожній точці на початковому та кінцевому етапах заміру.

У роботі [4] показана методика потрійної трилатерації визначення координат місцезнаходження об'єкта у прямокутній системі координат, визначення кутових координат цілі при побудові систем цілевказівки з використанням GPS-навігатора. Ця методика не завжди забезпечує гарантовану точність визначення просторових координат, необхідну для складання карт великих масштабів, не дозволяє скорочувати витрати при виключенні спотворень сигналів від супутникової навігаційної системи через наявність будь-яких перешкод. При використанні GPS-навігатора при певних умовах сигнал може і не доходити або приходити, але зі значними затримками або спотворенням. Сигнал GPS можуть також спотворити перешкоди, що виникають в результаті магнітних бур, або перешкоди від наземних джерел радіосигналу.

У роботі [5] пункт спостереження розташований на ЛПП, а визначення координат наземних об'єктів із геометричною точністю потребує значного часу для їх проведення. У роботі [6] використано методики визначення кінематичних параметрів з використанням еліптичної системи координат, що дозволяє отримати дуже прості співвідношення між параметрами руху безпілотного літаючого апарату на площині та різницево-дальномірною навігаційною інформацією, що отримується на борту від двох навігаційних станцій.

У роботах [7] здійснюється визначення математичного опису основних параметрів ЛПП в криволінійних системах координат, але оскільки закон перетворення між криволінійними координатами завжди має нелінійний характер, виникає проблема приведення всіх використовуваних у процесі керування величин до однієї локальної системи координат, причому, форма подання аналітичного зв'язку, отриманого в результаті координатних перетворень, повинна забезпечувати можливість застосування зазначених співвідношень на практиці.

Роботи [8, 9] відображають результати дослідження щодо вимірювання кінематичних параметрів визначення траєкторій просторових переміщень руху повітряних об'єктів із використанням радіолокаційних систем, що роблять їх малорухомими та великогабаритними, зменшуючи їх мобільність, можливість маневрувати. Для створення системи захисту об'єктів від ураження повітряних цілей на початковому етапі необхідно визначити кінематичні параметри ЛПП як цілі з реалізацією режиму супроводження, зокрема на підґрунті проведення вимірів зовнішньо-траєкторних параметрів ЛПП.

Мета статті полягає у створенні алгоритму визначення кінематичних параметрів ЛПП – $V_{кр}$ крейсерської швидкості, $A_I(x_a, y_a)$, $B_I(x_b, y_b)$ – координат проекції точок, у якому здійснюються виміри першого та другого відповідно, $x_c(t)$, $y_c(t)$, $z_c(t)$ – координати ЛПП, як функції часу по її зовнішньо-траєкторним вимірам.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рішення задачі будемо здійснювати у локальній системі координат (ЛСК). Початок ЛСК точка $O(0,0)$, спрямуємо вісь OX на північ вздовж вертикальної лінії сітки топографічної карти, а вісь OY перпендикулярно до неї на схід. Вісь OZ спрямуємо перпендикулярно площині XOY .

В точці $P(x_p, y_p)$ знаходиться прилад спостереження, за допомогою якого будемо спостерігати за ЛПП та визначати її зовнішньо-траєкторні параметри, а саме:

D_1 – дальність відстані до ЛПП першого заміру;

D_2 – дальність відстані до ЛПП другого заміру;

α_1 – кут лінії напрямку до ЛПП із точки P у момент першого заміру;

α_2 – кут лінії напрямку до ЛПП із точки P у момент другого заміру;

ε – кут між променями D_1, D_2 ;

t_1, t_2 – час першого та другого замірів дальності від точки P до ЛПП відповідно;

γ_1, γ_2 – дирекційні кути між напрямом осі OX та відрізка, що з'єднує точку P із проекціями точки A та точки B на площині XOY відповідно.

На рис. 1 відображено типове розташування ЛПП на траєкторії польоту відносно ЛСК, що введено.

Прилад спостереження повинен забезпечувати виконання наступних операцій:

- виявлення та візуальне супроводження ЛПП на відстані від 2500 до 5000 м у складних погодних умовах (сніг, дощ, туман, тощо) в будь-яку пору року та час доби;
- вимірювання похилої дальності до ЛПП та її кутів піднесення;
- вимірювання дирекційного кута та кута між проекціями на площині XOY ліній візування двох послідовних розташувань ЛПП при вимірюванні дальності.

У якості приладу спостереження може бути використаний комбінований прилад спостереження українського виробництва ТОВ «Укрспецконсалтинг» ПСК ПС-04 (рис. 2). Він забезпечує весь необхідний функціонал, завдяки оптичному та тепловізійному каналу, лазерному далекоміру.

Прилад виявляє цілі на відстані до 10 км у денному каналі та до 5 км через тепловізор. Має великий об'єм внутрішньої пам'яті, а також можливість спряження із комп'ютером по інтерфейсу, що дозволяє інтегрувати його у систему автоматизованого управління. Ця властивість дозволяє під'єднати оптичний прилад на загальну шину обчислювального пристрою системи визначення кінематичних параметрів ЛПП [10].

Як показує практика, при застосуванні низьколітаючих платформ процес визначення кінематичних параметрів можна розглядати у припущенні, що крейсерська швидкість $V_{кр}$ на кінцевій ділянці траєкторії не змінюється за величиною і напрямком [11, 12].

Обчислення координат ЛПП здійснюється у наступному порядку (рис. 1).

Величини h_1, h_2 будуть вираховуватися наступним чином:

$$h_1 = D_1 \sin \alpha_1 \equiv f_1(D_1, \alpha_1). \quad (1)$$

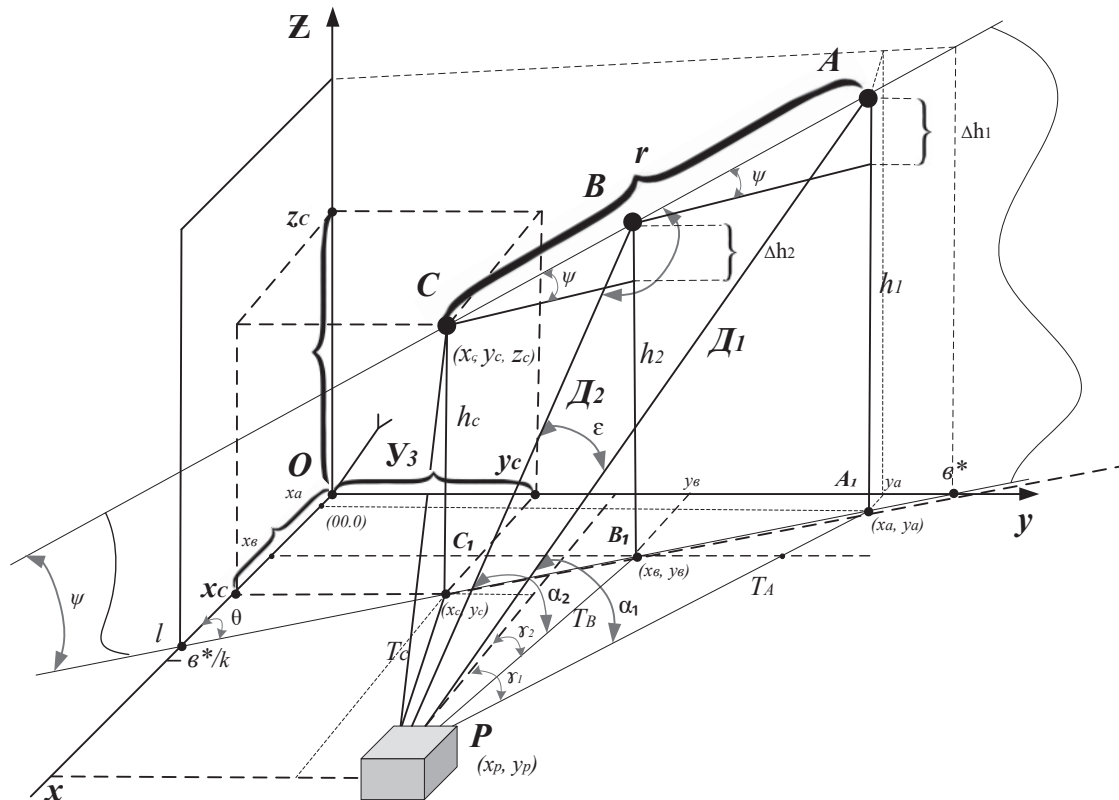


Рис. 1. Геометрична модель типового розташування траєкторії руху ЛП: A, B – точки знаходження ЛП на траєкторії за послідовними замірами, що зроблено оптичним приладом; D_1, D_2 – дальність відстані до ЛП у відповідності до черговості заміру; h_1, h_2 – висота руху ЛП у момент відповідних замірів; a_1, a_2 – лінії напрямку до ЛП із точки P у момент першого та другого замірів; γ_1, γ_2 – дирекційні кути ЛП у момент першого та другого замірів відповідно; ε – кут між променями D_1, D_2 ; r – відстань, яку проходить ЛП на поточний момент часу; P – точка знаходження приладу спостереження

$$h_2 = D_2 \sin \alpha_2 \equiv f_2(D_2, \alpha_2). \quad (2)$$

Якщо, $h_1 > a_1$, то ЛП знижується, а при $h_1 < h_2$ – навпаки. Відрізок AB , який є шляхом, що пройшла ЛП між двома замірами, визначається за виразом:

$$AB = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \varepsilon} \equiv f_3(D_1, D_2, \varepsilon). \quad (3)$$

Величину $V_{кр}$ – крейсерську швидкість руху ЛП по траєкторії будемо мати із виразу:

$$V_{кр} = \frac{AB}{\Delta t} = \frac{\sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \varepsilon}}{t_1 - t_2}, \quad (4)$$

де $\Delta t = t_2 - t_1$ – час між двома вимірами.

Визначимо положення ЛП на траєкторії у довільний момент часу.

Позначимо через величину r відстань, яку необхідно пройти ЛП з моменту t_1 до t , у передбаченні, що $V_{кр} = \text{Const}$, тоді

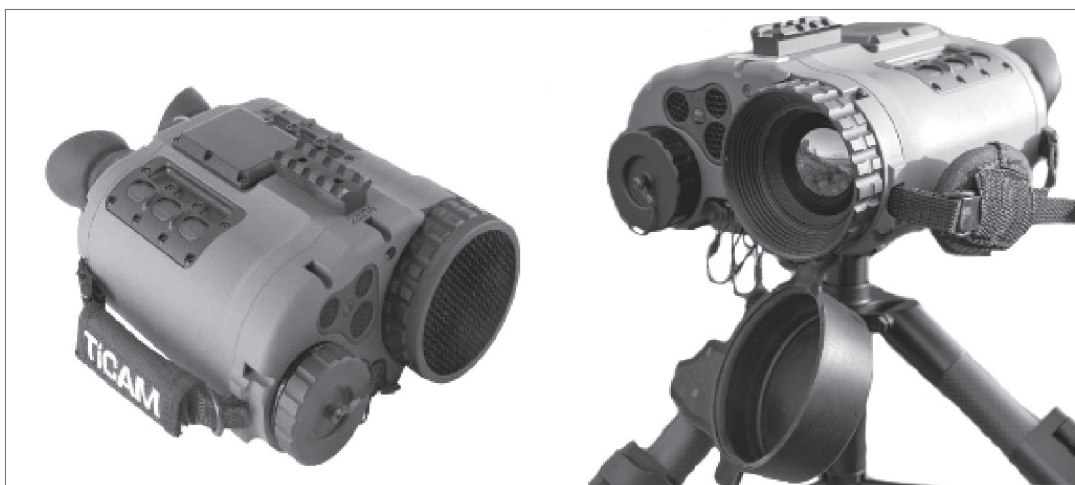


Рис. 2. Прилад спостереження комбінований ПСК ПС-04

$$r = \frac{\sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \varepsilon}}{t_2 - t_1} (t - t_1). \quad (5)$$

Маючи кути γ_1, γ_2 , довжини відрізків PT_A та PT_B із геометричних міркувань вирахуємо:

$$x_a = x_p - PT_A \cos \gamma_1; x_b = x_p - PT_B \cos \gamma_2. \quad (6)$$

$$y_a = y_p - PT_A \sin \gamma_1; y_b = y_p - PT_B \sin \gamma_2. \quad (7)$$

Враховуючи, що $AB_A = h_1 \equiv z_a$, $BT_B = h_2 \equiv z_b$, маємо прив'язку до системи координат точок $A(x_a, y_a, z_a)$ та $B(x_b, y_b, z_b)$.

Визначаємо кут θ , що утворює проекцію траєкторії ЛП на площині XOY із віссю OX . Позначимо точки B_1, C_1 на рис. 1, координатами яких є (x_b, y_b) та (x_c, y_c) відповідно. Тоді наступний вираз є рівнянням проекції траєкторії ЛП на площині XOY . Після відповідних перетворень виразу

$$\frac{x - x_b}{x_c - x_b} = \frac{y - y_b}{y_c - y_b} \quad (8)$$

маємо

$$y = kx + b^*, \quad (9)$$

де

$$k = \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b}; \quad (10)$$

$$b^* = -(y_b + x_b). \quad (11)$$

Виходячи з даного виразу, отримаємо:

$$\theta = \arctan \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b}. \quad (12)$$

Кут ψ визначаємо наступним чином:

$$\sin \psi = \frac{\Delta h_1}{AB}. \quad (13)$$

Тоді,

$$\psi = \arcsin \frac{\Delta h_1}{AB}. \quad (14)$$

На відрізу $CB = tV_{kp}$ обчислюється із моменту другого виміру дальності. Таким чином, координати поточної точки C траєкторії ЛП будуть залежати від поточного значення часу t , а саме $C(x(t), y(t), z(t))$.

C_1B_1 проекції CB на площі XOY $C_1B_1 = CB \sin \psi = V_{kp} t \sin \psi$. Тоді C_1B_1 на осі OX відповідно проекції OX , а на проекції OY $C_1B_1 = CB \cos \theta$, тоді

$$\begin{aligned} x_c(t) &= x_b + C_1B_1 \sin \theta \\ y_c(t) &= y_b + C_1B_1 \cos \theta \\ z_c(t) &= h_1 - h_2 - tV_{kp} \sin \psi \end{aligned} \quad (15)$$

Проте, в якості кінцевого результату необхідно застосувати параметри, що вимірюються приладом спостереження, де:

$$\begin{aligned} x_c(t) &= x_b + V_{kp} t \left(\frac{D_1 \sin \alpha_1 - D_2 \sin \alpha_2}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \varepsilon}} \right) \cdot \\ &\quad \sin \left(\arctan \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} y_c(t) &= y_b + V_{kp} t \left(\frac{D_1 \sin \alpha_1 - D_2 \sin \alpha_2}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \varepsilon}} \right) \cdot \\ &\quad \cos \left(\arctan \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} z_c(t) &= D_1 \sin \alpha_1 - D_2 \sin \alpha_2 - \\ &- tV_{kp} \left(\frac{D_1 \sin \alpha_1 - D_2 \sin \alpha_2}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2 - 2D_1D_2 \cos \varepsilon}} \right). \end{aligned} \quad (18)$$

Вирази (16) – (18) дають необхідні значення координат поточної точки C розташування ЛП на траєкторії у поточний час.

Послідовність цих розрахунків передбачатиме структуру математичного апарату з визначенням поточних координат, яку буде складати система визначення кінематичних параметрів ЛП. Ця система визначення кінематичних параметрів ЛП буде використовувати електронно-обчислювальні технології, схему роботи системи показано на рис. 3.

Система визначення кінематичних параметрів ЛП працює наступним чином:

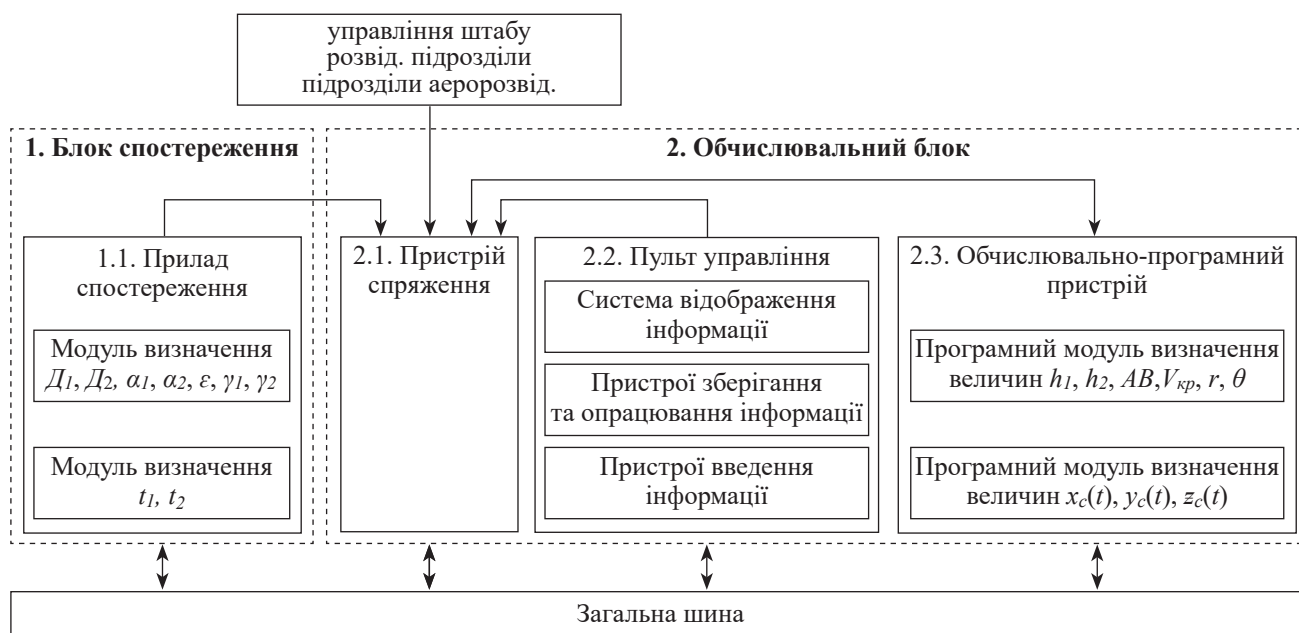
- інформація від штабів та інших джерел (управління штабу, розвідувальних підрозділів розвідки, підрозділів аеророзвідки) надходить на прилад спостереження і далі у систему відображення інформації і застосовується оператором приладу спостереження;
- при надходженні даних про наближення ЛП за допомогою приладу спостереження здійснюється вимір елементів її траєкторії руху у просторі, а саме: $D_1, D_2, \alpha_1, \alpha_2, t_1, t_2, \varepsilon, \gamma_1, \gamma_2$ та формуються відповідні вектори, що складаються із кодів та величин і передаються відповідно точки $P(x_p, y_p)$ на пристрій спряження, який перетворює коди величин інформаційного вектору до типорозмірів та надсилає їх до обчислювального пристрою, крім того, система може розглядати варіант підключення приладу спостереження на загальну шину;
- програмне забезпечення здійснює обрахунки параметрів ЛП відповідно до визначеного алгоритму, для поточних координат цілі $x_c = x_c(t), y_c = y_c(t), z_c = z_c(t)$, проекції координат точок A та B , проекції V_{kp} ;
- пульт управління здійснює управління складовими елементами та обробляння інформації про об'єкт спостереження.

В подальшому автори планують використати отримані результати при синтезі системи виявлення та ураження низьколітаючих цілей.

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід для визначення кінематичних характеристик руху ЛП шляхом застосування зовнішньо-траєкторних вимірів її параметрів ($D_1, D_2, \alpha_1, \alpha_2, t_1, t_2, \varepsilon, \gamma_1, \gamma_2$).

Отримано аналітичні вирази визначення просторових координат ЛП $x_c(t), y_c(t), z_c(t)$, крейсерської швидкості V_{kp}



Р и с . 3. Схема системи визначення кінематичних параметрів ЛП по її зовнішньо-траекторним вимірам

та координат проекції точок $A_1(x_a, y_a)$, $B_1(x_b, y_b)$, у яких зроблені два послідовних виміри параметрів ЛП.

Отримані результати будуть використанні для подальших досліджень щодо нових методів протидії безпілотним літаючим комплексам, у тому числі використання інженерних боєприпасів, як засіб ураження низьколітаючих платформ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Огляд та аналіз світового досвіду боротьби з ударною безпілотною авіацією / Єрилкін А. Г., Гур'єв Д. О., Карлов Д. В., Коробецький О. В., Шевченко Ю. А. Харк. нац. ун-т Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. 2022. № 4(49). С. 15–22.
- Прохорцов А. В., Савельев В. В. Методы определения координат и скорости подвижных объектов с помощью спутниковых радионавигационных систем. Изв. ТулГУ. Технические науки. 2011. № 2. С. 264–274. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n>.
- Киричук Ю. В. Середньоквадратичні похибки визначення координат об'єкта в системі прямокутних координат. Технологічний аудит і резерви виробництва. 2014. № 1/4(15). С. 21–23.
- Броварець О. О. Методика потрійної трилатерації визначення надточних координат місцезнаходження об'єкта. Вісн. ХНТУ. 2017. № 2(61). С. 19–28.
- Віват А. Й., Рій І. Ф., Бочко О. І. Спосіб визначення точного положення об'єкта з літаючої платформи. Економіка і суспільство. 2017. № 9. С. 809–812.
- Легкоступ В. В., Маркевич В. Э. Уравнения кинематики беспилотного летательного аппарата в эллиптической системе координат при наведении по разностно-дальномерной навигационной информации. Системный анализ и прикладная информатика. ОАО «АЛЕВКУРП». 2021. № 1. С. 12–20. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n>.
- Jiashan Cui, Yunhui Li, Ju Huo, Ming Yang, Yongkun Wang & Cong Li. (2021). A measurement method of motion parameters in aircraft ground tests using computer vision. Measurement. No 174. Pp. 1–13. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/348572570>.
- Визначення координат та параметрів руху безпілотних літаючих апаратів. Теоретичні основи розробки та експлуатації системи озброєння / Афтаназів І. С., Стоцько Р. З., Шевчук А. О., Строган О. І., Бойко О. О. Системи озброєння і військова техніка. Нац. ун-т «Львівська політехніка». 2022. № 3 (7). С. 49–59.
- Džunda, M. (2021), Model of the Motion of a Navigation Object in a Geocentric Coordinate System. Transnav the Intern. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. No 4(15). Pp. 791–794. <https://doi.org/10.12716/1001.15.04.10>.
- Електронний довідник перспективних зразків озброєння та військової техніки для розвідувальних підрозділів. G-7. Офіційний сайт сил територіальної оборони Міністерства Оборони України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/dovidnik-perspektivnix-zrazkiv-ozbroyennya-ta-vijskovoi-texniki-dlya-rozviduvalnix-pidrozdiliv>.
- Мосов С. П. Безпілотна авіація у військовій справі: монографія. Київ: «ІНТЕРСЕРВІС». 2019. 324 с.
- Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності / Корсунов С. І., Волков А. Ф., Оборонов М. І., Орехов С. В., Гуртовенко В. В., Федченко С. І. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 66–81.

REFERENCES

- Yerylkin, A. H., Huriev, D. O., Karlov, D. V., Korobetskyi, O. V. & Shevchenko, Yu. A. (2022), "Ohliad ta analiz svitovoho dosvidu borotby z udarnoiu bezpilотноiu aviatsiieiu" [Review and analysis of the world's experience in combating unmanned aerial vehicles], Kharkiv Nat. Univ. of the Air Forces of Ukraine named after I. Kozhedub. № 4(49). Pp. 15–22.

2. Prokhortsov, A. V. & Savelev, V. V. (2011), "Metodu opredeleniia koordynat i skorosti podvyzhykh obektov s pomoshchiu sputnykovykh radyonavihatsionnykh system" [Methods of determining coordinates and velocity of mobile objects using satellite radio navigation systems], Izv. Tulsu. Technical Sciences. No 2. Pp. 264–274. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n>.
3. Kyrychuk, Yu. V. (2014), "Serednokvadratnyi pokhybky vyznachennia koordynat obiekta v systemi priamokutnykh koordynat" [RMS errors in determining the coordinates of an object in a rectangular coordinate system], Technological audit and production reserves. No 1/4(15). Pp. 21–23.
4. Brovarets, O. O. (2017), "Metodyka potriinoi trylateratsii vyznachennia nadtochnykh koordynat mistseznakhodzhennia obiekta" [Triple trilateration technique for determining ultra-precise coordinates of an object's location], Bull. of KhNTU. No 2(61). P. 19–28.
5. Vivat, A. Y., Rii, I. F. & Bochko, O. I. (2017), "Sposib vyznachennia tochnoho polozhennia obiekta z litaiuchoi platformy" [A method for determining the exact position of an object from a flying platform], Economy and society. No 9. Pp. 809–812.
6. Lehkostup, V. V. & Markevych, V. E. (2021), "Urvneniia kynematyky bespylotnoho letatelnoho apparata v ellyptycheskoi systeme koordynat pry navedenii po raznostno-dalnomernoi navyhatsyonnoi informatsii" [Kinematics equations of unmanned aerial vehicle in elliptical coordinate system at pointing by difference-dalimeter navigation information], System analysis and applied informatics. JSC «ALEVKURP». No 1. Pp. 12–20.
7. Jiashan Cui, Yunhui Li, Ju Huo, Ming Yang, Yongkun Wang & Cong Li. (2021). A measurement method of motion parameters in aircraft ground tests using computer vision. Measurement. No 174. Pp. 1–13. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/348572570>.
8. Aftanaziv, I. S., Stotsko, R. Z., Shevchuk, A. O., Strohan, O. I. & Boiko, O. O. (2022), "Vyznachennia koordynat ta parametriv rukhu bezpilotnykh litalnykh aparativ" [Determination of coordinates and movement parameters of unmanned aerial vehicles], Theoretical foundations of the development and operation of weapons systems. Weapons systems and military equipment. Lviv Polytechnic Nat. Univ. No 3 (7). Pp. 49–59.
9. Džunda, M. (2021), Model of the Motion of a Navigation Object in a Geocentric Coordinate System. Transnav the Intern. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. No 4(15). Pp. 791–794. <https://doi.org/10.12716/1001.15.04.10>.
10. "Elektronnyi dovidnyk perspektyvnykh zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki dlia rozviduvalnykh pidrozdiliv" [An electronic reference book of advanced weapons and military equipment for intelligence units], G-7, Official website of the territorial defense forces of the Ministry of Defense of Ukraine. Available at: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/dovidnik-perspektivnix-zrazkiv-ozbroiennia-ta-vijskovoi-tekhniki-dlya-rozviduvalnix-pidrozdiliv>.
11. Mosov, S. P. (2019), "Bezpilotna aviatsiia u viiskovii spravi" [Unmanned aircraft in military affairs], Monograph. K.: INTERSERVICE. 324 p.
12. Korsunov, S. I., Volkov, A. F., Oboronov, M. I., Oriekhov, S. V., Hurtovenko, V. V. & Fedchenko, S. I. (2021), "Transformatsiia zavdan bezpilotnoi aviatsii: vid stvorennia do zastosuvannia u voiennykh konfliktakh suchasnosti" [Transformation of the tasks of unmanned aerial vehicles: from creation to use in modern military conflicts], Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine. No 3(44). Pp. 66–81.

Korolov V.M., Holushko S.L.

A VARIANT OF DETERMINING THE KINEMATIC PARAMETERS OF A LOW-FLYING PLATFORM BASED ON THE RESULTS OF ITS EXTERNAL TRAJECTORY MEASUREMENTS

Various methods are used to determine the spatial coordinates of various flying objects. One of these methods is to determine the coordinates using trigonometric relations with the use of the results of external trajectory measurements. According to the measurement results and assumptions made, the coordinates of the aircraft platform and its motion parameters are determined by solving a geometric problem using the developed algorithm. Such an approach will ensure the determination of the coordinates, speed, direction of movement of the aircraft platform, which moves in any direction relative to the selected reference system.

The analytical expressions for calculating the current coordinates of the aircraft platform in the relative reference system and the coordinates of the optical instrument measurement points on the projection of the target's trajectory are obtained. A geometric model of a typical location of the flight platform's trajectory with the points of its location on the trajectory and the main parameters of the air target's movement is presented. The functions of the optical device and a possible variant of its application in the form of an existing model of a combined observation device are presented. The system for determining kinematic parameters based on electronic computing technologies, which is based on a computing device with software modules for determining values, is schematically presented. The principle of operation of the system is briefly described with its use in further research on new methods of counteracting unmanned aerial vehicles, including the use of engineered munitions as a means of defeating low-flying, low-speed platforms.

The mathematical model of the algorithm for determining the kinematic parameters of an aircraft platform using optoelectronic means will be a structural element of the system of protection of objects and troops by detecting and defeating low-speed, low-flying targets.

Keywords: *airborne platform, coordinates, optical device, trajectory, air target, external trajectory measurements.*

Відомості про авторів:**Корольов Володимир Миколайович**

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник науково-
дослідного відділу (систем управління військами)
Наукового центру сухопутних військ
Національна академія сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного
м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8421-584X>
e-mail: kvn_Lviv@uk.net

Голушко Сергій Леонідович

ад'юнкт штатний науково-організаційного відділу
Національної академії сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного
м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1585-8504>
e-mail: golyshko17@gmail.com

Information about the authors:**Korolov Volodymyr**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Leading Scientist of Scientific and Research Department
of the Army Management Systems Army Scientific Center,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8421-584X>
e-mail: kvn_Lviv@uk.net

Holushko Sergey

Full-time Adjunct of Scientific and Organizational
Department of Hetman Petro Sahaidachnyi National Army
Academy
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1585-8504>
e-mail: golyshko17@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 04.07.2024.