

УДК 528.74

О. АНКОЛЬЧУК¹, Т. КРАВЕЦЬ², О. ПОЛЕЦЬ³

¹ Курсант навчальної групи 241-АР, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, вул. Героїв Майдану, 32, Львів, 79012, Україна, тел.: 0963692886, e-mail: anikolcuko@gmail.com

² Кафедра комплексів та приладів артилерійської розвідки, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, вул. Героїв Майдану, 32, Львів, 79012, Україна, тел.: 0974321406, e-mail: taras-kravets@ukr.net

³ Кафедра комплексів та приладів артилерійської розвідки, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, вул. Героїв Майдану, 32, Львів, 79012, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ БПАК В УМОВАХ ДІЇ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

Мета статті – обґрунтування алгоритму, який дасть змогу визначати координати виявлених угруповань противника, його пересування, координати вогневих засобів, оборонних споруд і бойової техніки противника; вести розвідку місцевості, особливо її змін у районах бойових дій; оперативно вносити зміни в топографічні карти та інші графічні документи місцевості; вести спостереження за діями своїх військ (контроль результатів ураження цілей авіацією, перевірка якості маскування своїх військ); визначати координати цілей; виявляти перешкоди і шляхи їх обходу тощо. Також у статті запропоновано алгоритм автоматизації аерознімання та опрацювання розвідувальної інформації (дешифрування), автоматизації способу визначення координат об'єктів за аерозображенням (зокрема в умовах застосування противником засобів радіоелектронної боротьби під час активних завад (GPS спуфінг) та оцінювання точності координатної прив'язки фотозображень. **Методика.** Дослідження виконано на основі аналізу літературних джерел із теми наукового дослідження та практичного аналізу в ході польотів БПАК тактичного рівня як вітчизняного виробництва, таких як А1-СМ “Фурія”, ЛЕЛЕКА-100, SHARK, “Sirko”, так і західних країн PUMA, Spectator-M1, FlyEye та інших. Крім навчальних польотів, для виконання поставлених завдань враховано та проаналізовано бойовий досвід у підрозділах артилерійської розвідки та під час виконання бойових операцій із застосуванням ЗС російської федерації радіоподавлення у широкому спектрі частот. **Результати.** Проаналізовано теоретичні, методичні та практичні проблеми застосування підрозділів БПАК в умовах активного застосування противником засобів радіоелектронної боротьби та виконано практичні експерименти, в результаті яких визначено конкретні способи поліпшення функціонування БПАК в умовах активної дії засобів радіоелектронної боротьби противника. На основі глибокого аналізу актуальності та перспектив розвитку повітряного знімання у ЗС України запропоновано новий алгоритм застосування штатних фотокамер літальних апаратів. Виконано експериментальне дослідження зі здійсненням польоту за відсутності GPS-сигналу та визначення координат трьох точок і порівняння із даними двочастотного GSM-модуля. **Наукова новизна.** Необхідність цього дослідження зумовлена тим, що аеророзвідникам часто доводиться виконувати бойові завдання із застосуванням БПАК в умовах дії РЕБ противника, але спосіб виконання аерознімання, створення ортофотопланів та визначення координат об'єктів у таких умовах не зазначений. Науковою новизною цієї праці є розроблення та апробація алгоритму прив'язки та дешифрування аерознімків в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). Цей алгоритм дає змогу ефективно працювати підрозділам безпілотних літальних апаратів (БПАК) в умовах, коли GPS-сигнал недоступний. Крім того, дослідження окреслює нові напрями розвитку аерознімання, такі як введення запису кутів орієнтування (крену та тангажу) для підвищення точності опрацьованих знімків, використання технології дистанційного зондування Землі для автоматичного архівування та передавання даних, а також використання цивільних фотографувальних БПЛА літакового типу із захищеними GNSS модулями. Ці пропозиції відкривають нові можливості для поліпшення якості та ефективності роботи безпілотних літальних апаратів у розвідувальних операціях. Загалом наукова новизна дослідження полягає в розробленні нових підходів та алгоритмів для вирішення проблем прив'язки та дешифрування аерознімків в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби. **Практичне значення.** Запропоновано алгоритм роботи операторів БПАК в умовах дії РЕБ противника і проаналізовано точність визначення координат об'єктів за матеріалами повітряної розвідки. Результати дослідження призначені для командирів підрозділів БПАК, ПУАР та осіб, залучених до роботи штабу, а саме секції S2 (розвідка) та аналітичних центрів з метою ефективного визначення положення військ противника. Застосування алгоритму прив'язки та дешифрування аерознімків з високою точністю у ситуаціях, коли GPS-

сигнал недоступний, дасть змогу підрозділам безпілотних літальних апаратів (БпАК) ефективно працювати у важких умовах радіоелектронної боротьби. Це сприятиме забезпеченню командирів та штабів актуальними картами, які нададуть оперативну інформацію для визначення реального стану місцевості, доріг, інфраструктури та інженерних споруд противника. Крім того, введення нових технологій, таких як запис кутів орієнтування та використання технології дистанційного зондування Землі, сприятиме підвищенню точності опрацьованих знімків та ефективному архівуванню й передаванню даних.

Ключові слова: оптичний модуль денний; безпілотний авіаційний комплекс; цифрове повітряне зображення; аерознімок; середньоквадратичне відхилення.

Вступ

Постановка проблеми

Щоб зменшити помітність безпілотного літального апарата, оператор БпАК вимикає GPS-модуль, а якщо противник активно застосовує засоби радіоелектронної боротьби, GPS сигнал відсутній. В таких умовах неможливо визначати координати об'єктів за фотозображенням, ускладнюється подальше дешифрування. Оператор визначає координати об'єктів окомірним порівнянням аерозображення із супутниковою картою з програмного комплексу (ПК) "Кропива", Google Maps або інших картографічних джерел. А в малоконтурній місцевості такий спосіб унеможлиблює визначення координат, а також не підлягає оцінці точності.

Отже, це дослідження зумовлене певними аспектами:

- недостатність альтернативних методів визначення координат об'єктів на аерознімках в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ);
- обмежена точність визначення координат за допомогою візуального порівняння аерозображень із супутниковими картами чи іншими картографічними джерелами;
- ускладнення дешифрування аерознімків через неможливість точного визначення координат об'єктів, що впливає на аналіз та розуміння зображень;
- потреба в розробленні ефективних методів прив'язки та дешифрування аерознімків в умовах активного застосування засобів РЕБ, які забезпечуватимуть високу точність та швидкість опрацювання даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз останніх досліджень та публікацій у галузі прив'язки та дешифрування аерознімків в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби свідчить про актуальність цієї проблеми та потребу в подальшому дослідженні. В роботах [Дорожинський, 5; Кононенко, 5; Макаров, 12] розглянуто історичний аспект створення систем прив'язки і дешифрування аерознімків та не враховано принципи їх застосування в умовах активного використання засобів РЕБ. Досліджено вплив засобів РЕБ [Абрамов, 1] в обсязі, недостатньому для сучасних бойових дій.

Також виявлено світові тенденції у розвитку безпілотної авіаційної техніки та вимоги до її безпеки, що відображено у роботі [Керівництво 9, 10]. Досліджено класифікацію безпілотних літальних апаратів (БЛА) залежно від їх базування, напрямку підйому та типу підйому/посадки [Пашковський, 13].

Однак особливості застосування безпілотної розвідувальної авіації в умовах активного застосування засобів РЕБ потребують детальнішого висвітлення. Особливу увагу необхідно звернути на артилерійську розвідку, яка вимагає розроблення ефективних методів прив'язки та дешифрування аерознімків для забезпечення точності й надійності визначення координат об'єктів.

Отже, це дослідження у галузі прив'язки та дешифрування аерознімків в умовах активного застосування засобів РЕБ необхідне для розроблення нових методів та алгоритмів, що враховуватимуть особливості цих умов.

Метою статті є висвітлення результатів моделювання ефективності наявних БпАК для артилерійської розвідки та обґрунтування параметрів, якими повинен характеризуватись БпАК для виконання бойових завдань у спектрі артилерійської розвідки на належному рівні.

Виконано систематичний огляд останніх наукових досліджень і публікацій, що стосуються проблем прив'язки та дешифрування аерознімків в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби. Стаття спрямована на аналіз сучасних тенденцій, методик, технологій і підходів до прив'язки та дешифрування аерознімків у контексті використання засобів радіоелектронної боротьби. Основна мета статті – узагальнення та систематизація наявних досліджень для забезпечення глибшого розуміння проблематики прив'язки та дешифрування аерознімків у сучасних умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби та надання своїх рекомендацій щодо поліпшення прив'язки та дешифрування.

Виклад основного матеріалу

З часу повномасштабного вторгнення військ РФ на територію України БпАК стали одним із найактуальніших засобів розвідки, оскільки надають можливість

визначення усіх типів цілей та візуального спостереження у тилах противника. В артилерійських підрозділах на озброєнні є БпАК тактичного рівня. Одне із основних завдань – здійснення аерознімання (дистанційного знімання). Аерознімання – одна із важливих складових аеророзвідки, оскільки основну інформацію про противника отримують під час подальшого дешифрування фото- та відеоматеріалів. Для вимірних властивостей матеріалів аерознімання необхідно виконувати планове знімання. Плановим називають знімання, яке виконується за вертикального положення оптичної осі камери або відхилення її від вертикалі на кут не більше ніж 3° у разі повітряного знімання для картографічних потреб і до $20\text{--}25^\circ$ – для цілей військового дешифрування. Вважають, що плановий аерознімок (АФЗ) або цифрове повітряне зображення (ЦПЗ) місцевості являє собою план місцевості.

Насправді під час дешифрування потрібно враховувати, що у міру віддалення від центра зображення масштаб поступово збільшується, а розмір зображення зменшується. За кута зору повітряної знімальної камери $2\beta = 70^\circ$ на краю він на $20\text{--}30\%$ відрізняється від відповідних значень у центрі. Настільки змінюється і геометрична форма зображення об'єктів. Якщо в центрі зображення вона являє собою план, то з віддаленням від нього виникають перспективні спотворення.

Щоб вирішити проблему відсутності навігації та унеможливити спотворення знімків, пропонуємо такий алгоритм:

1. Здійснення польоту з необхідним перекриттям.
2. Виконання первинного дешифрування розвідувальних матеріалів.
3. Створення цифрової моделі місцевості (ЦММ).
4. Прив'язка ЦММ до координатної сітки.

Для отримання суцільного фотографічного зображення ділянки місцевості аерознімання виконують за прямолінійними паралельними маршрутами із частковим перекриттям сусідніх аерознімків одного маршруту (повздовжнє перекриття) або суміжних маршрутів (поперечне перекриття), що дає змогу визначати просторові координати точок місцевості. Використовують типи побудови маршруту, наведені на рис. 1.

Під час здійснення польотів за одним із застосованих типів маршруту виконують маршрутне знімання місцевості, за винятком маршруту методом прочісування та баражування у визначеному районі. У першому випадку маршрут умовно розділяють на набір паралельних ліній із повздовжнім перекриттям зображень. У другому випадку під час здійснювання польоту способом баражування необхідно групувати фото за часом і після закінчення руху в кожну сторону.

Також важливим етапом підготовки маршруту є вибір робочої висоти польоту та оптичного зуму

камери, оскільки, якщо не урахувати цих умов, малі площинні цілі не будуть виявлені або унеможливиться їх розпізнавання та ідентифікування.

Здійснюючи польоти із застосуванням аерознімання, згідно з [Дорожинський 6] необхідно забезпечувати перекриття між знімками $P_x = 80\%$, щоб досягти потрібного перекриття у повздовжній площині. Для виконання цієї умови необхідно визначити частоту фотографування. Розрахунок частоти фотографування на прикладі А1-СМ “Фурія”, наведено в [Керівництво 9], а вихідними даними будуть дані бортових приладів. Згідно із [Керівництво 9] кут огляду фотокамери 90° , а оптичного модуля денного (ОМД) 51° , фокусна відстань $5,1\text{ мм}$ для оптичного модуля денного (далі ОМД) та 5 мм для фотокамери. Відносна висота польоту задана акселерометром, швидкість БпАК з наземної станції управління (НСУ) положення камери та ОМД приймають перпендикулярно до землі. Частоту фотографування γ обчислюють за формулою:

$$\gamma = \frac{L \times (100 - P_x)}{100} \div V_{\text{крей}} \times K, \quad (1)$$

де L – відстань між краями місцевості, яку охоплює зображення; $V_{\text{крей}}$ – крейсерська швидкість БпАК; K – коефіцієнт збільшення частоти знімання за рахунок різних похибок: неточність керування БпЛА та аерообладнання; приймають $1,1$ для рівнинної місцевості та $1,15$ для гірських умов.

Для визначення L необхідно розглянути умови розв'язання задачі. Геометричний центр фотокамери приймають за вершину трикутника АВС, а висоту БпАК – за висоту трикутника h . Висота трикутника є також бісектрисою кута АВС. Кривизною Землі нехтують, кут А дорівнює куту С. Утворюється рівнобедрений трикутник АВС (рис. 2).

Сторони трикутника для фотокамери дорівнюватимуть: кут $A = 45^\circ$, кут $B = 90^\circ$, кут $C = 45^\circ$, а для ОМД ці кути становитимуть $A' = 64,5^\circ$, $B' = 51^\circ$, $C' = 64,5^\circ$. Оскільки фотокамера перпендикулярна до землі, то і висота h перпендикулярна до сторони АС і розділяє її на дві рівні частини, утворюючи два прямокутні трикутники – ABh та BCh . Також пряма Bh є бісектрисою кута АВС і утворює два кути B_1 та B_2 . Для фотокамери ці кути дорівнюватимуть $B_1 = 45^\circ$, $B_2 = 45^\circ$, а для ОМД $B'_1 = 25,5^\circ$, $B'_2 = 25,5^\circ$. Маючи довжину сторони Bh та кути B та C , за теоремою синусів можемо знайти сторону $hC = (Bh/\sin(C))$. За другою ознакою рівності трикутників, якщо сторона і два прилеглі до неї кути одного трикутника відповідно дорівнюють стороні та двом прилеглим до неї кутам другого трикутника, то такі трикутники рівні. Сторона h є спільною стороною обох трикутників, так само як і рівність кутів B_1 та B_2 , а кут h однаковий для обох трикутників, тобто ці трикутники рівні. Отже, сторона $AC = 2hC$. Тому загальний

вигляд формули для фотокамери такий:

$$L = \left(\frac{h}{\sin(45^\circ)} \sin(45^\circ) \right) \times 2, \quad (2)$$

– для ОМД:

$$L = \left(\frac{h}{\sin(64^\circ 30')} \sin(25^\circ 30') \right) \times 2. \quad (3)$$

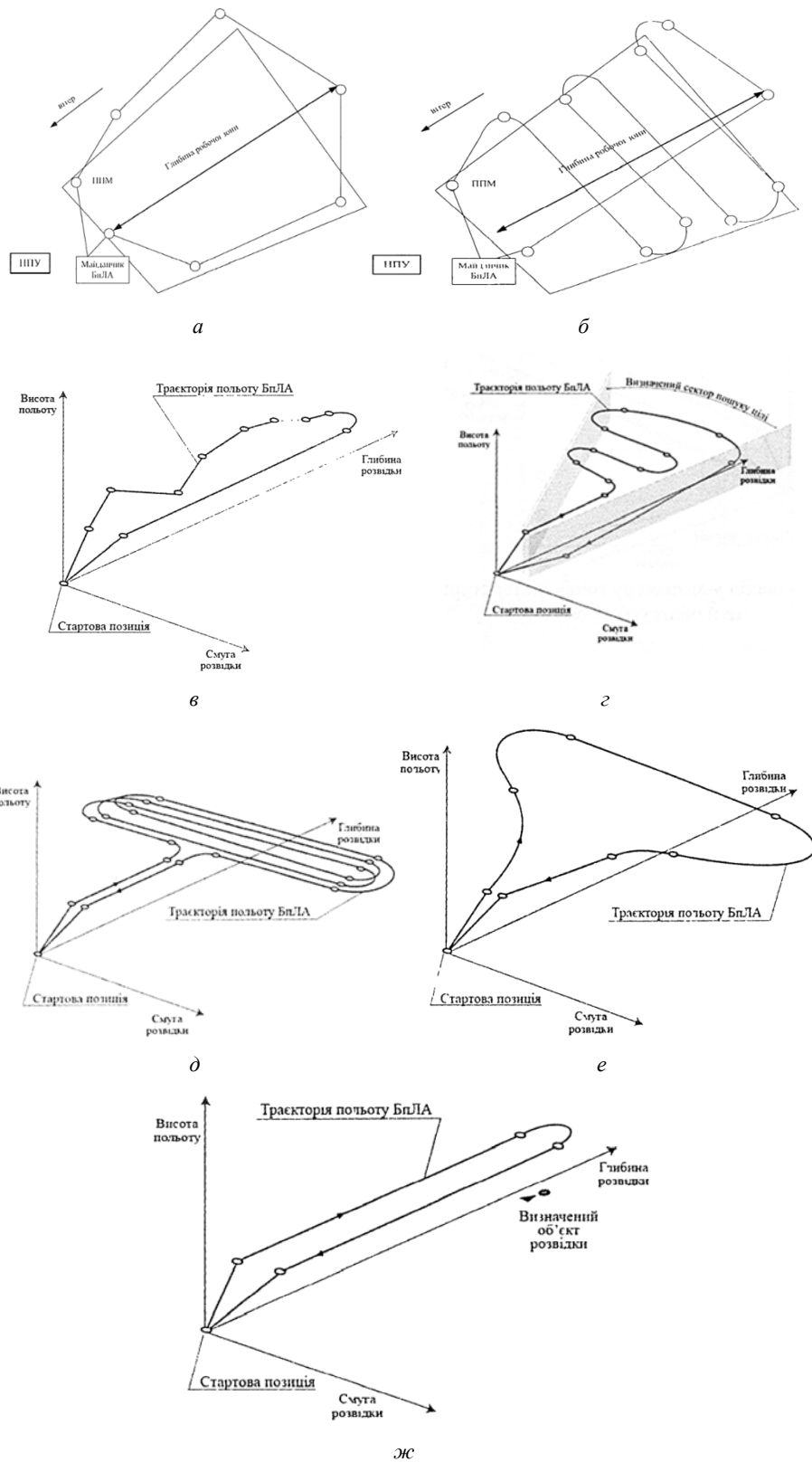


Рис. 1. Способи побудови маршрутів аерознімання:

а – кільцево замкнений маршрут; б – маршрут методом прочісування; в – за визначеним маршрутом; г – пошук у визначеному секторі; д – баражування у визначеному районі; е – вихід у визначену точку на території противника; ж – обліт визначеного рубежу

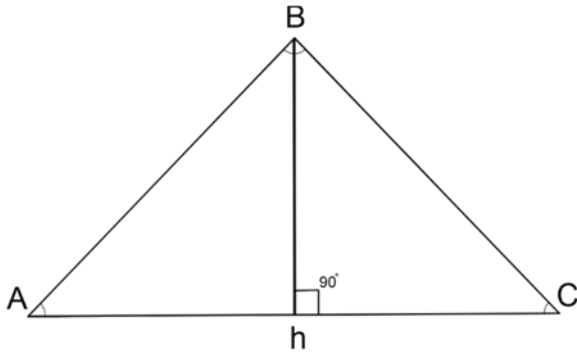


Рис. 2. Геометричне положення фотокамери відносно площини фотографування

Таблиця 1

Залежність площі захопленої місцевості від висоти фотографування

Висота фотографування, м	Розміри місцевості які захоплює фотокамера, м	Розміри місцевості які захоплює ОМД, м
500	1000×1000	477×477
600	1200×1200	572×572
700	1400×1400	668×668
800	1600×1600	763×763
900	1800×1800	859×859
1000	2000×2000	954×954
1100	2200×2200	1049×1049
1200	2400×2400	1145×1145

Тому загальний вигляд формули:

$$Y = \frac{\left(\frac{h}{\sin(45^\circ)} \sin(45^\circ) \right) \times 2 \times (100 - P_x)}{100} \div V_{\text{крей}} \times K \quad (4)$$

За даними табл. 1 можна розрахувати частоту знімання Y для фотокамери та ОМД, які наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Залежність частоти знімання від висоти фотографування

Висота БпАК, м	Фотокамера, с	ОМД, с
500	10,8	5,1
600	13	6,1
700	15,1	7,2
800	17,2	8,2
900	19,4	9,2
1000	21,6	10,3
1100	23,8	11,3
1200	25,9	12,4

Під час здійснення польотів методом прочісування для отримання якісного ортофотоплану необхідно розраховувати відстань між двома лініями маршруту. Згідно із [Керівництво 10] перекриття зображеннями у суміжному прольоті для БпАК повинно становити

$P_y = 40\%$. Тому відстань між двома умовними точками прольоту має дорівнювати $L = 60\%$. Проміжні дані наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Відстань між маршрутами прольоту у разі здійснення польоту методом прочісування, м

Висота фотографування	Відстань між маршрутами прольоту для фотокамери, м	Відстань між маршрутами прольоту для ОМД, м
500	600	286
600	720	343
700	840	401
800	960	458
900	1080	515
1000	1200	572
1100	1320	620
1200	1440	687

$$L_m = \frac{L \times (100 - P_y)}{100} \quad (5)$$

Вибір висоти та оптичного зуму. Для спрощення підготовки застосовують критерій Джонсона для теплових камер, який надає співвідношення для трьох характеристик: виявлення $1,5$ пікселя/ $0,75 \text{ м}^2$, розпізнавання 6 пікселів/ $0,75 \text{ м}^2$ та ідентифікація 12 пікселів/ $0,75 \text{ м}^2$. Знаючи ці співвідношення, розраховують мінімальну площу пікселя: для виявлення це $0,5 \text{ м}^2$, для розпізнавання $0,125 \text{ м}^2$, та $0,0625 \text{ м}^2$ для ідентифікації відповідно.

Знаючи масштаби знімків та їхню роздільну здатність, розраховують площу пікселя за формулою (6):

$$S = \left(\frac{Lh}{3000} \right) \times \left(\frac{Lh}{4000} \right), \quad (6)$$

де Lh – розмір знімка за певної висоти та кута огляду.

Далі здійснюють вибірку даних методом “так” або “ні”, дані якої наведено в табл. 4. З табл. 4 бачимо, що політ на першому зумі уможливило первинну розвідку, а для здійснення розвідки та дорозвідки необхідно використовувати зум від 2 та вище.

Після обльоту та аерознімання отримані дані потрібно дешифрувати. Для автоматизації цього процесу рекомендовано використовувати програму “На Долоні”. На Долоні – це неймережа, логіка якої налаштована на виявлення військової техніки. Її створено за ініціативою Центру інновацій ЗС України. Архітектура програми реалізована на основі Windows, для реалізації програмного коду використано відеокарти Nvidia, а за його відсутності використовується центральний процесор (ЦП), але швидкість опрацювання зменшується. Альтернативою є використання хмарного додатка, який потребує підключення до інтернету. Після детекції через неймережу необхідно з окремих АФЗ створити

ЦММ. Для виконання цього пропонуємо використати програму Image Composite Editor. Image Composite Editor – це проста у використанні програма для створення панорам, вона зшиває аерознімки.

Таблиця 4

Можливості фотокамери залежно від висоти знімання та кута огляду з урахуванням критерію Джонсона

Вид техніки	Зум 1 (кут огляду 45°)			Зум 2 (кут огляду 30°)		
	виявлення	розпізнавання	ідентифікація	виявлення	розпізнавання	ідентифікація
500	+	+	–	+	+	+
600	+	+	–	+	+	+
700	+	–	–	+	+	+
800	+	–	–	+	+	+
900	+	–	–	+	+	+
1000	+	–	–	+	+	+
1100	+	–	–	+	+	+
1200	+	–	–	+	+	+

Наступним кроком в обробленні АФЗ є горизонтування та орієнтування аерознімків. Горизонтування необхідно здійснити, щоб усунути неоднаковість масштабу знімків, що призведе до похибок вимірювань на ньому, спричинених коливанням БпАК та похибкою стабілізатора ОМД. Орієнтування здійснюють, щоб визначити координати дешифрованих цілей та об'єктів. Це завдання виконують за допомогою ГІС. Достатню точність та простоту виконання забезпечує QGIS. Через відсутність просторових даних для цифрових зображень орієнтування виконують як прив'язку растрових зображень. Для вирішення програмою цих завдань застосовано поліномальний спосіб. Для здійснення растрової прив'язки поліномальним способом треба задати контурні точки (КТ). Контурними точками є об'єкти, чіткі розміри яких спостерігаються на ортофотоплані та карті. До контурних точок, з вимогами їх довготривалої збереженості й надійності розпізнавання на місцевості, зараховують:

- перетини (розвилки) осевих ліній профільних доріг, вулиць, просік;
- кути окремих споруд, будинків (рекомендовано одно- та двоповерхові будинки);
- споруди баштового типу, труби заводів і фабрик, радіощогли, пам'ятники;
- у районах, бідних на орієнтири, – чіткі вигини річок, струмків, перетини річок, дельти, кути загонів для

худоби, перетини мостів з водоймищами, кути лісів та степів тощо.

Самі поліноми бувають різних порядків. Рівень полінома визначає, наскільки коригуватиметься зображення під проєкцію земної поверхні та проєкції ортофотоплану. В QGIS реалізовано поліноми до третього порядку включно. Для вибору полінома необхідна певна кількість контурних точок, які розраховують за формулою

$$n = \frac{((t + 1)(t + 2))}{2}, \quad (7)$$

де n – кількість КТ; t – порядок полінома.

Під час розрахунку треба враховувати, що перша точка є нульовою. У табл. 5 вказано кількість необхідних контурних точок перетворення поліномів із 1-го по 10-й та залежність потрібної кількості контурних точок від порядку полінома (точності координатної прив'язки аерофотозображення).

Таблиця 5

Залежність необхідної кількості контурних точок від порядку полінома

Порядок перетворення полінома	Мінімальна кількість контурних точок з урахуванням нульової точки
1	4
2	7
3	11
4	16
5	22
6	29
7	37
8	46
9	56
10	67

Під час растрової прив'язки ортофотоплану поліномальним способом для здійснення нелінійних перетворень, щоб накласти ортофотоплан згідно із проєкцією Землі, необхідний поліном від другого порядку та вище.

Контроль точності. З метою визначення точності описаного у праці алгоритму здійснено польоти навколо певного полігона за визначеним маршрутом. Як контурні точки використали опозначки (дерев'яні рейки, скріплені нахрест, чітко видимі на ортофотоплані). Координати опозначок визначено GNSS-модулем фірми JAVAD модель TRIUMPH-2 із середньоквадратичним відхиленням (СКВ) точок 1,7 см. СКВ обчислено за формулою

$$СКВ = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2}{n}}. \quad (8)$$

Орієнтування ЦММ здійснювалося поліномом другого порядку.

Дані, визначені повітряним фотографуванням, та розраховані СКВ наведено у табл. 6. Встановлено та-

кож розмах вимірів між мінімальними та максимальними значеннями для визначення розбіжностей.

Таблиця 6

Еталонні та обчислені значення і різниці між ними

Точка 1	X	53680,033	Y	76344,184	X _{існ}	53671,139	Y _{існ}	76349,022
	ΔX	8,894	ΔY	4,838				
Точка 2	X	53703,120	Y	76363,710	X _{існ}	53696,404	Y _{існ}	76368,114
	ΔX	6,716	ΔY	4,404				
Точка 3	X	53982,400	Y	76119,340	X _{існ}	53975,273	Y _{існ}	76111,980
	ΔX	7,127	ΔY	7,360				
СКВ	9,52							

Отже, описаний у статті алгоритм дасть змогу підрозділам безпілотних літальних апаратів ефективно працювати в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби, коли GPS-сигнал недоступний. Застосування цього алгоритму дасть можливість визначати координати цілей з високою точністю, забезпечуючи командирів та штаби актуальними картами. Це надасть оперативну інформацію для визначення реального стану місцевості, доріг, інфраструктури та інженерних споруд противника.

У подальшому розвитку аерографування можливе введення запису кутів орієнтування (крену та тангажу), що дасть змогу підвищити точність опрацьованих знімків, виконуючи їх горизонтування. Також може застосовуватися технологія, використовувана під час дистанційного зондування Землі, для автоматичного архівування, стискання знімків без втрати якості та автоматичного передавання даних по наявних радіоканалах БпАК. Це допоможе зменшити час опрацювання даних і підвищити ефективність роботи підрозділів.

Крім того, використання цивільних фотографувальних БпЛА літакового типу із захищеними GNSS модулями – напрям розвитку, націлений на забезпечення безпеки та точності вимірювань.

Література

Абрамова В. В. (2014). Автоматичне оцінювання характеристик складних завад при обробці даних багатоканального дистанційного зондування: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.07.12 “Дистанційні аерокосмічні дослідження” / Абрамова Вікторія Валеріївна; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського “Харків. авіац. ін-т”. Харків, 20 с.

Азарсков В. М. Богом’я В. І. (2016). Підвищення ефективності систем управління космічними апаратами ДЗЗ. Новітні технології: зб. наук. праць.

Серія: “Інформаційні технології”. Київ, Вип. 1. С. 109–11.

Байрак Г. Р. (2007). Аналіз рельєфу і природокористування рівнин заходу України за аерокосмічними даними: монографія. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка. 296 с.

Глотов В. М., Фис М. М., Колесніченко В. Б., Гуніна А. В. (2022). Застосування БПЛА у військовій справі та аерозніманні: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 196 с.

Дорожинський О. Л. (2003). Основи фотограмметрії: підручник. Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. 214 с.

Дорожинський О. Л., Тукай Р. (2008). Фотограмметрія: підручник. Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. 332 с.

Кононенко С. І., Шемякін М. В. (2022). Основи фотограмметрії: метод. вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентам спеціальності 193 “Геодезія та землеустрій”. Умань: Уманський НУС. 54 с.

Керівництво льотної експлуатації А1-СМ “Фурія” 2022 р. Керівництво з бойової роботи підрозділів безпілотних авіаційних комплексів ракетних військ і артилерії Збройних сил України. Військова керівна деталізована публікація. Центр оперативних стандартів і методики підготовки Збройних сил України спільно з ракетними військами і артилерії командування сухопутних військ Збройних сил України. 2019. 44 с.

Лезік О. В., Орехов С. В., Левагін Г. А., Оборонов М. І. (2019). Можливі форми та способи бойового застосування сил і засобів ППО і РЕБ в умовах радіоелектронної протидії в зоні проведення Операції об’єднаних сил: зб. наук. праць Харківського національного університету Повітряних сил, № 4(62). С. 61–67.

- Макаров А. Л. (2013). Управление процессом съемки поверхности Земли с помощью спутников. Авиационно-космическая техника и технология. Серия: "Информационные технологии". Харьков, Вып. 3. С. 101–109.
- Пашков Д. П. (2016). Метод спектральної фільтрації в відео спектрометрах дистанційного зондування. Новітні технології: зб. наук. праць. Серія: "Геодезія. Дистанційне зондування Землі". Київ, Вип. 1. С. 109–113.
- Рубан І., Шитова О. (2011). Метод обробки інформативних областей зображень в системах оптичного моніторингу. *Комп'ютерні науки та інженерія*: матеріали V Міжнародної конференції молодих вчених. Львів: Видавництво Львівської політехніки, С. 82–85.
- Ясенев С. О. (2016). Особливості оброблення космічних знімків. Новітні технології: зб. наук. праць. Серія: "Геодезія. Дистанційне зондування Землі". Київ, Вип. 1. С. 9–13.
- https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/index.html

О. ANIKOLCHUK¹, Т. KRAVETS², О. POLETS³

¹ Cadet of training group 241-AR, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, 32, Heroiv Maidana str., 79012, tel.: 0963692886, e-mail: anikolcuko@gmail.com

² Department of Artillery Reconnaissance Systems and Devices, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, 32, Heroiv Maidana str., 79012, tel.: 0974321406, e-mail: taras-kravets@ukr.net

³ Department of Artillery Reconnaissance Systems and Devices, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, 32, Heroiv Maidana str., 79012, tel.: 0974321406

APPLICATION BPAK IN THE CONDITIONS OF USE OF RADIO ELECTRONIC WARFARE EQUIPMENT (EW)

The purpose of the article is to justify the algorithm that will allow to determine the coordinates of detected enemy groups, their movements, coordinates of fire equipment, defensive structures and combat equipment of the enemy; conduct reconnaissance of the terrain, especially its changes in the areas of hostilities; promptly make changes to topographic maps and other graphic documents of the area; monitor the actions of your troops (monitoring the results of hitting targets by aircraft, checking the quality of the camouflage of your troops); determine the coordinates of targets; identify obstacles and ways around them, etc. Also, the article proposes an algorithm for automating aerial photography and processing intelligence information (decryption), automating the method of determining the coordinates of objects from an aerial image (including in the conditions of the enemy's use of electronic warfare tools during active jamming (GPS spoofing), and evaluating the accuracy of the coordinate reference photo images. **Method.** The study was carried out on the basis of the analysis of available literary sources on the topic of scientific research and practical analysis during the flights of tactical level BpAK both of domestic production, such as A1-SM "Fury", "LELEKA-100", "SHARK", "Sirko" and Western countries "PUMA", "Spectator-M1", "FlyEye" and others. In addition to training flights, combat experience in artillery reconnaissance units and during combat operations with the use of radio suppression on a wide spectrum of frequencies by the Armed Forces of the Russian Federation were taken into account and analyzed to fulfill the assigned tasks. **Results.** The theoretical, methodical and practical problems of the use of BpAK units in conditions of active use of electronic warfare by the enemy were analyzed, and practical experiments were conducted, as a result of which concrete ways of improving the functioning of BpAK in conditions of active use of enemy electronic warfare were obtained. Based on an in-depth analysis of the relevance and prospects for the development of aerial photography in the Armed Forces of Ukraine, a new algorithm for the use of standard cameras of aircraft is presented. An experimental study was conducted by flying in the absence of a GPS signal and determining the coordinates of three points and comparing them with the data of the dual-frequency GSM module. **Scientific novelty.** The need for this study is due to the fact that aerial reconnaissance often has to perform combat missions using BpAK in the conditions of enemy EW, but the method of performing aerial photography, creating orthophoto plans and determining the coordinates of objects in such conditions is not specified. The scientific novelty of this article is the development and testing of an algorithm for linking and decoding aerial photographs in conditions of active use of electronic warfare (EW). This algorithm allows units of unmanned aerial vehicles (UAVs) to work effectively in conditions where the GPS signal is unavailable. In addition, the study suggests new directions for the development of aerial photography, such as the introduction of the recording of orientation angles (roll and pitch) to increase the accuracy of processed images, the use of remote sensing technology for automatic data archiving and transmission, as well as the use of civilian aircraft-type photographic UAVs with protected GNSS modules. These

proposals open new opportunities for improving the quality and efficiency of unmanned aerial vehicles in reconnaissance operations. In general, the scientific novelty of the research consists in the development of new approaches and algorithms for solving the problems of linking and deciphering aerial photographs in the conditions of active use of radio-electronic warfare. **Practical meaning.** An algorithm for the operation of BPAK operators in the conditions of the enemy's EW is proposed, and the accuracy of determining the coordinates of objects based on aerial reconnaissance materials is analyzed. The results of the research are developed for the commanders of the BpAK, PUAR units and persons involved in the work of the headquarters, namely the S2 section (intelligence) and analytical centers in order to effectively determine the position of the enemy's troops. The application of the algorithm of linking and deciphering aerial photographs with high accuracy in situations where the GPS signal is unavailable will allow units of unmanned aerial vehicles (UAVs) to work effectively in difficult conditions of radio-electronic warfare. This will contribute to providing commanders and headquarters with up-to-date maps that will provide operational information to determine the real state of the enemy's terrain, roads, infrastructure, and engineering structures. In addition, the introduction of new technologies, such as the recording of orientation angles and the use of Earth remote sensing technology, will contribute to improving the accuracy of processed images and effective archiving and data transmission.

Key words: day optical module; unmanned aircraft complex; digital aerial image; aerial photo; root mean square deviation.

References

- Abramova V. V. (2014). Automatic evaluation of the characteristics of complex interference during multi-channel remote sensing data processing: autoref. thesis ... candidate technical Sciences: 07/05/12 "Remote aerospace research" / Abramova Viktoriya Valeriivna; Ministry of Education and Science of Ukraine, National aerospace University named after M. E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute". Kharkiv, 20 p.
- Azarskov V. M., Bogomya V. I. (2016). Increasing the efficiency of control systems for space vehicles of the DZZ. New technologies: collection. of science works. Series: "Information technologies". Kyiv, Vol. 1, 109–113.
- Bayrak G. R. (2007). Analysis of the relief and nature use of the plains of western Ukraine according to aerospace data: monograph. Lviv: Publishing Center of LNU named after Ivan Franko. 296 p.
- Glotov V. M., Fis M. M., Kolesnichenko V. B., Gunina A. V. (2022). Use of UAVs in military affairs and aerial photography: monograph. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. 196 p.
- Dorozhynskyi O. L (2003). Basics of photogrammetry: textbook. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic University. 214 p.
- Dorozhinsky O. L., Tukay R. (2008). Photogrammetry: Textbook. Lviv: Publishing House of the Lviv Polytechnic National University. 332 p.
- Dorozhynskyi O. L., Tukay R. (2008). Photogrammetry: textbook. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. 332 p.
- Kononenko S. I., Shemyakin M. V. (2022). Basics of photogrammetry: methodical instructions for practical classes and independent work for students of the specialty 193 "Geodesy and land management". Uman: Uman State University. 54 p.
- 2022 A1-SM "Furia" flight operation manual.
- Manual for the combat work of units of unmanned aviation complexes of missile forces and artillery of the armed forces of Ukraine. Military executive detailed publication. The Center for Operational Standards and Training Methods of the Armed Forces of Ukraine together with the Missile Forces and Artillery Command of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine. 2019. 44 p.
- Lezik O. V., Orekhov S. V., Levagin G. A., Oboronov M. I. (2019). Possible forms and methods of combat use of air defense and EW forces and means in the conditions of radio-electronic countermeasures in the area of the Joint Forces Operation. *Collection of scientific works of the Kharkiv National University of the Air Force*, No. 4(62), 61–67.
- Makarov A. L. (2013). Management of the process of surveying the Earth's surface with the help of satellites. Aviation-cosmetic technology and technology. Series: "Information Technologies". Kharkiv, Iss. 3, 101–109.
- Pashkov D. P. (2016). Spectral filtering method in remote sensing video spectrometers. Latest technologies: collection. of science works. Series: "Geodesy. Remote sensing of the Earth". Kyiv, Iss. 1, 109–113.
- Ruban I., Shitova O. (2011). A method of processing informative areas of images in optical monitoring systems. Computer science and engineering: materials of the V International Conference of Young Scientists. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 82–85.
- Yasenev S. O. (2016). Peculiarities of space image processing. Latest technologies: coll. of science works Series: "Geodesy. Remote sensing of the Earth". Kyiv, Vol. 1, 9–13.
- https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/index.htm