

УДК 354.404.4

О.Д. Пащетник, В.В. Пашковський, Ю.П. Сальник

Академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

## АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ РОЗРОБОК GPS-СИСТЕМ АЕРОЗНІМАЛЬНОГО ТИПУ

*В статті проведено аналіз питання поєднання навігаційних систем із знімальними та визначені важливі проблеми фотограмметричного виробництва. Запропоновано застосування GPS при аерофотозніманні, що призводить до зменшення кількості наземних опорних точок для картографування та допомагає визначити положення центру проекції знімальних камер.*

**Ключові слова:** аерофотознімок, аерофотознімання, позиціонування, стереофотограмметричний метод, GPS-приймач, GPS-антена, літальний апарат.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Вплив фотограмметричної якості матеріалів аерознімання на пряму залежить від точності визначення координат точок місцевості. Високі вимоги до фотограмметричної якості пояснюються істотним впливом кутових елементів зовнішнього орієнтування на обробку знімків, а відповідно і на точність отримуваних координат точок місцевості.

Серед авіаційної техніки для реалізації названої задачі більш ширше використовуються такі літальні апарати, як літак АН-2, вертольоти Ми-8, Ми-2 та мотодельтоплани, так як вони відповідають вимогам планового великомасштабного аерознімання [1].

Літак АН-2 має переваги в цьому виді знімання у порівнянні з АН-30, що призначений для знімання в середніх і дрібних масштабах є дешевший при його використанні. Цей носій не оснащений автопілотом і програмним пристроєм, тому для літаководіння застосовується приладний метод з ручним пілотуванням. Одним з недоліків літака АН-2 є розташування блістерів в районі вхідних дверей, що обмежує огляд вперед за напрямком польоту, а це ускладнює візуальне керування траєкторії польоту. Для усунення цього недоліку використовується приймач глобальної позиційної системи GPS, що дає змогу витримувати курс з максимальним відхиленням в сторони  $\pm 10$  м. Іншим недоліком літака АН-2 є збільшення впливу похибок пілотування і літаководіння на малих висотах, що погіршує фотограмметричну якість аерофотознімків (дрібномасштабність, коливання поздовжнього та поперечного перекриттів, кути нахилу знімків).

Вертоліт Мі-8МТВ позбавлений цього недоліку і на малих висотах забезпечує стабільний політ, що дозволяє використовувати його для знімання населених пунктів, великих інженерних споруд і т.п. в масштабах 1:5000-1:500 [2]. З економічної точки зору недоліком експлуатації Мі-8МТВ є його орендна вартість, яка перевищує вартість АН-2 у 1,2 – 2 рази.

Актуальною задачею є впровадження у аерофотознімальний процес GPS-приймачів для визначення центрів проекцій знімальних камер. Для цього використовуються геодезичні GPS як високоточні систе-

ми визначення координат, які дають точність близько 3-5 сантиметрів. Використання GPS при зніманні допомагає зменшити кількість наземних контрольних точок для картографування, визначити положення центру проекції аерофотоапарата (АФА) [3, 4].

Сама ідея аерофотознімання (АФЗ) з GPS полягає в позиціонуванні літака (і таким чином аерофотоапарата) за рахунок використання методу диференційного GPS знімання, що реалізується з допомогою одного чи більше приймачів, встановлених в точках, розташування яких відоме, в той час, як рухомий приймач встановлюється на літаку.

В аерофотознімальному виробництві вже використовуються системи, розроблені для визначення центрів проекцій аерофотокамер, які випускаються фірмою Leica [5]. Однак, ці системи призначені для застосування на багатогабаритних носіях. З економічної точки зору ця система має високу собівартість (650 тис. доларів). Таким чином, виникла задача розробити вдосконалену систему, для впровадження її на легкі та надлегкі літальні апарати та зі значно меншою собівартістю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [6] представлено спосіб безпосереднього орієнтування цифрової знімальної камери, цей процес протягом останніх років почав широко впроваджуватися у виробництві. У статті виміри GPS визначаються як важлива частина для досягнення високої точності. Підкреслюється, що для загального підвищення точності GPS результатів вже існують перманентні станції для наземних застосувань, але ще не використовувались для прямого та інтегрованого орієнтування сенсора. Одне з таких рішень полягає у використанні мережі референц станцій замість лише однієї базової.

В роботі [7] наведені результати дослідження в рамках Італійського дослідницького проекту "Інтегровані інерційні позиціонуванняльні системи в аерофотограмметрії" щодо потенційного використання цих технологій для виробництва цифрових великомасштабних ортофотопланів.

Ще один напрямок в аерозніманні з допомогою цифрових камер та GPS систем це – застосування

безпілотних літальних апаратів [8, 9]. В роботах пропонується застосовувати неметричні цифрові камери з навігаційною системою для знімання з радіокеруючої моделі гелікоптера, що дає змогу значно здешевити процес аерознімання і в той же час за рахунок стабілізації камери з допомогою платформи отримати якісні знімки.

У публікації [5] подано спосіб системи ASCOT швейцарської фірми Leica, яка призначена для виконання аерофотознімальних робіт із визначенням просторових координат центрів проекції знімальних камер за допомогою GPS-приймачів. Вона складається з GPS-антени, комп'ютера з GPS-приймачем, навігаційного пристрою, знімальної камери з гіростабілізуючим пристроєм та наземного GPS-приймача. Технологічна схема лазерного аеро- та наземного сканування ALTM-3100 висвітлюється в роботі [11]. Проаналізовано запропоновану схему та подано відповідні рекомендації щодо її експлуатаційних особливостей.

Основними функціональними компонентами аерознімальної системи лазерного картографування є:

- скануючий блок (генерація лазерних імпульсів, прийом відбитого сигналу);
- бортовий навігаційний комплекс (сумісна обробка в реальному масштабі часу даних GPS-приймача і інерціальної системи IMU);
- мережа наземних базових станцій GPS-ГЛОНАСС.

Особливості апаратно-програмного комплексу «Система картографування реального часу на базі ALTM3100» включають: можливість встановлення, практично, на будь-який легкий вертоліт або літак; наявність схеми встановлення погодження з розробником Ми-8; час проведення робіт по встановленню і метрологічному контролю не більше одного дня. Багато публікацій, в яких розглядають цю тему, подано у збірнику наукових праць Міжнародного конгресу фотограмметристів, який відбувся у Стамбулі. Обмеження розмірів статті не дають змогу проаналізувати усі роботи, тому розглянемо лише основні.

У публікаціях [10, 12] наведено результати експериментальних робіт, що виконувались з цифровою аерознімальною камерою ADS-40 та навігаційною системою. Точність планових координат, визначених за допомогою GPS-приймача, становила 0,2 – 0,3 м, а висотної: 0,3 – 1,2 м.

Починаючи з 2000 року Німецькі Повітряні сили використовують модульну систему AEROcontrol™ (IGI, Kreuztal; Германія), ця система розглянута в праці [13]. Компонентами повної системи є: інерціальна система (INS), 12 – каналний L1/L2 GPS-приймач, AEROcontrol™ комп'ютер, адміністративна система польоту CCNS 4, наземна GPS-станція.

У публікації [14] представлено трьохлінійний сканер (TLS) STARIMAGER з вимірювальною системою STARLABO, що обладнаний GPS/IMU та INS. Описана конфігурація цієї системи, технічні засоби та особливості програмного забезпечення, а також різні сучасні доповнення, що внесені до вертольоту, а саме трьохлінійна системи розгортаючого

механізму (TLS), STARIMAGER, що розробляється корпорацією STARLABO, Токіо (Японія).

Аналізуючи приведені літературні джерела, необхідно відмітити, що в останній час навігаційні системи знайшли значне впровадження у фотограмметричному виробництві. Зважаючи на це постає необхідність у підвищенні точності визначення лінійних елементів орієнтування з допомогою навігаційних систем. Отже, вирішення цієї задачі є актуальним та важливим питанням, що стоїть перед науковцями.

**Мета статті** полягає в проведенні аналізу питання поєднання навігаційних систем із знімальними, розробка та застосування GPS при аерофотозніманні, що в кінцевому результаті надало можливість зменшити кількість наземних опорних точок для картографування, а також визначення положення центру проекції знімальних камер.

## Основний матеріал

В аерозніманні на сьогоднішній день застосування GPS значно ширше і точніше. Основними фірмами в світі, що виготовляють GPS є: Trimble Navigation, Leica, Sokkia, Garmin Entertainment, Magellan, Motorola. З переліку цих фірм безумовними лідерами в навігаційних та фотограмметричних GPS є фірми Trimble та Leica.

Аерофотокамери останнього покоління RMK TOP (Zeiss), RC20 і PC30 (Leica, LH-Systems) об'єднані з GPS в єдині системи, які дозволяють повністю автоматизувати аерознімальний процес. Ці системи мають назви: CCNS-4, T-Flight (Zeiss), Ascot (Leica). В цих системах використовується двочастотний GPS-приймач, який працює в режимі DGPS; тому в районі знімального об'єкту встановлюється наземна базова станція.

Фірма Trimble Navigation Ltd є однією з перших компаній, яка почала випускати GPS-приймачі. Компанія володіє повним циклом виробництва, від автоматизованого проектування мікросхем до автоматичного збирання приймачів. Фірма контролює більше третини світового ринку GPS-обладнання.

Наступною фірмою, що спеціалізується на виготовленні GPS є корпорація Leica. Фірма виготовляє як навігаційні так і геодезичні GPS. Діапазон продукції дуже великий: антени, контролери, програмне забезпечення, а також навігаційні системи для виконання аерофотознімання. Для аерофотознімання особливий інтерес має система ASCOT.

Розглянемо більш детально будову цієї системи. Як антени GPS-приймача, можуть застосовуватися сенсори SR 260-SR 399. GPS контролер - SR 9500 або аналогічний за точністю. Антена встановлюється над оптичною віссю об'єктива АФА. Це необхідно для визначення вузлової точки *S*. Бортова ПЕОМ служить для прийому та обробки інформації з GPS приймача та порівняння дійсних координат положення носія з запрограмованими координатами маршрутів. Таким чином, в момент експозиції фіксуються координати центру проекції АФА.

Для підвищення точності та однозначності визначення центру проекції об'єктиву АФА використовується здебільшого не одна, а чотири антени, що розташовуються на носії в вершинах квадрата, в перетині діагоналей якого знаходиться аерофотокамера.

На сьогоднішній день широке застосування знайшли технології, які дозволяють негайно перевести дані сенсора чи об'єкта в місцеву чи глобальну систему координат, що робить можливим їх подальшу обробку. Такі системи складаються з приймача GPS на борту та на землі (референц станція чи станція прив'язки) та інерціальної системи комбінованої із сенсором, який визначає кути та прискорення сенсора з високою точністю.

З 2000 р. Hansa Luftbild German Air Surveys працює з модулярною системою AEROcontrol™ в комбінації з декількома сенсорами. Загалом до 2003 р. було завершено понад 40 проєктів з аналоговими та цифровими камерами. За цей час було виконано великий обсяг експериментально – дослідницьких робіт розглянути щодо надійності роботи цієї системи. Була також покращена технічна процедура для підготовки польоту, виконання та подальшої обробки.

### Висновок

1. На основі аналізу проведеного в статті визначено, що на сьогоднішній день питання поєднання навігаційних систем із знімальними є одна із важливих проблем фотограмметричного виробництва, оскільки, якщо ця задача буде повністю розв'язана, собівартість стереофотограмметричного методу значно знизиться завдяки виключенню процесу планово-висотної підготовки.

2. Застосування запропонованої GPS при аерофотозніманні допомагає зменшити кількість наземних опорних точок для картографування, визначити положення центру проекції знімальних камер [25].

3. Запропонований блок спряження між GPS SR 9500 з аерофото – і цифровими знімальними камерами. Створений макетний зразок комплексу і проведені лабораторні дослідження запропонованого блоку з усіма видами знімальних камер планово-висотної підготовки, а також доведена дієздатність під час проведення польових випробувань.

4. Точність стабілізації та діапазон роботи розробленого автоматизованого аерофотопристрою відповідають параметрам планового аерознімання. Габарити та маса системи дозволяють застосовувати її в технологічній схемі великомасштабного аерознімання із значними експлуатаційними перевагами над розглянутими раніше системами стабілізації. Переваги пристрою – уніфікованість його окремих вузлів, оскільки електромеханічний привід виготовлено з елементів комплексу аерофотокамери; крім того, вартість розробки знижена завдяки використанню вітчизняних радіодеталей. Пристрій у виробничих умовах випробувано на борту вертольоту Мі-8МТВ протягом п'ятнадцяти льотно-знімальних годин та літака АН-2 протягом двадцяти льотно-знімальних годин, що дає

зможу стверджувати придатність розробки для впровадження виробництва та використання.

5. Запропонований комплекс значною мірою є дешевшим за собівартість від існуючих; простий для виготовлення та впровадження експлуатації, може застосовуватись для будь-яких камер.

### Список літератури

1. Волчко П.І. Підстави до застосування технології аерофотознімання ділянок місцевості з борту гелікоптера / П.І. Волчко, В.М. Глозов, М.Т. Процик // Вісник геодезії та картографії: наук.-техн. журн. . – К., 1998. – С. 33 – 36.
2. Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8МТВ (издание 3-е). – М.: Воздушный транспорт, 1988. – 123 с.
3. Colomina I. GPS, INS and aerial triangulation: what is the best way for the operational determination of photogrammetric image orientation? In: The International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, München, Germany, Vol. XXXII, Part 3-2W5, 1999. – P. 121-130.
4. Dreesen, Frank, Schroth, Ralf.: Moderne Verfahren der Geo-Referenzierung in der praktischen Anwendung, PFG (Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation), Stuttgart, 4/2003, Schroth, R. (ed.): Hansa Luftbild Symposium on High. – P. 279-284.
5. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії / О.Л. Дорожинський. – Львів: Льв. Політехніка, 2003. – 212 с.
6. Heipke C.; Jacobsen K.; Wegmann H.; Andersen O.; Nilsen Jr. B. Test goals and test set up for the OEEPE test "Integrated Sensor Orientation". In: Integrated Sensor Orientation, OEEPE Official Publication No. 43, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main, 2002. – P. 11-18.
7. Dardanelli G, Emmolo D., Franco V., Brutto M. Lo, Orlando P., Villa B. GPS/INS systems for compilation of digital large-scale orthophotos // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul. – 204 p.
8. Kumagai, H., Kubo, Y., Kihara, M., and Sugimoto, S. DGPS/INS/VMS integration for high accuracy land-vehicle positioning, Journal of the Japan society of photogrammetry and remote sensing. – Vol. 41, no.4, 2002. – P. 77-84.
9. Masahiko Nagai, Ryosuke Shibasaki, Dinesh Manandhar, Huijing Zhao. Development of surface model and feature extraction by integrating laser scanner and CCD sensor with IMU // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul, 2004. – P. 781-786.
10. Alhanlan S., J.P. Mills, Walker A.S., Sars T. The influence of ground control points in the triangulation of Leica // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul. – 2004.у. – P. 495-500.
11. Камараба О. Технология трехмерного лазерного сканирования в нефтегазовой отрасли / О. Камараба // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 36. наук. праць. – Львів, 2007. – С. 146-153.
12. Mohammed M.R. Mostafa. Airborne testing of the DSS: test results and analysis. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXV congress ISPRS. Istanbul, 2004. – P. 775-780.

Надійшла до редколегії 29.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент В.М. Глозов, Національний університет „Львівська політехніка”, Львів.

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТОК  
GPS-СИСТЕМ АЭРОФОТОСЪЕМНОГО ТИПА**

О.Д. Пашетник, В.В. Пашковский, Ю.П. Сальник

*В статье проведен анализ вопроса соединения навигационных систем с аппаратурой для съемки и определения важных проблем фотограмметрического производства. Предложено использование GPS при аэрофотосъемке, что приведет к уменьшению количества наземных опорных точек для картографирования и помогает определить положение центра проекции съемочных камер.*

**Ключевые слова:** аэрофотоснимок, аэрофотосъемка, позиционирование, стереофотограмметрический метод, GPS-приёмник, GPS-антенна, летательный аппарат.

**ANALYSIS PERSPECTIVE DIRECTIONS OF GPS SYSTEMS MODELS  
OF AIR PHOTOGRAPHING TYPE**

O.D. Paschetnsk, V.V. Pashkovsky, Yu.P. Sal'nik

*The article gives a thorough analysis on the issue of linking the navigation systems with photographic equipment and identifies essential problems of photogrammetric production. The use of GPS is suggested for air photographing which leads to reduction of number of land based points for mapping and helps to locate the center of projection of photo cameras.*

**Keywords:** airphotograph, airphotographing, location, stereophotogrammetric method, GPS receiver, GPS aerial, flying object.