



## ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ КАМЕРИ 3-DAS-1

*Освещаются достижения предприятия "ООО "Аналитика", которое, являясь подразделением ГНПП "Геосистема", более десяти лет выполняет фотограмметрические работы с использованием цифровых фотограмметрических станций "Дельта" и аэрофотокамеры 3-DAS-1. Эти современные приборы способствовали переходу предприятия на полностью цифровую технологию фотограмметрического производства. Аэрофотокамера дала возможность автоматизировать большинство процессов фотограмметрической обработки материалов аэросъемки, освоить новые виды работ, в частности, подготовку цифровых моделей местности.*

*In the article it is reviewed the achievements of LLC "Analitika", a subdivision of SSPE "Geosystema", which more than 10 years execute photogrammetric works on the basis of digital photogrammetric stations "Delta" and digital aerial camera 3-DAS-1. These modern devices allowed creating completely digital technology of photogrammetric production at the enterprise. The aerial camera made possible to automatize the most of the operations of photogrammetric processing of aerial photography materials, particularly creation of digital terrain models.*

**Передісторія питання.** Підприємство "ТОВ "Аналітика" понад десять років виконує фотограмметричні роботи з використанням цифрових фотограмметричних станцій (ЦФС) "Дельта" (ЦНІГАіК). На початковому етапі це були роботи зі стереоскопічного картографування на замовлення різних європейських компаній. Замовник надавав підприємству відскановані аерофотознімки з готовими елементами зовнішнього орієнтування, отриманими в результаті врівноваження, а вихідним продуктом була тривимірна векторна карта (цифрова модель місцевості) у заданому форматі, зібрана пошарово відповідно до правил і вимог цього замовника.

З розвитком українського ринку підприємство почало виконувати усе більше місцевих замовлень як генпідрядник усього комплексу робіт, що включає аерофотознімання, планово-висотну прив'язку, фототріангуляцію та її врівноваження, створення цифрових карт і мозаїчних ортофотопланів. Фотограмметричний відділ підприємства, оснащений фотограмметричним сканером і необхідною кількістю ЦФС "Дельта", нараховує нині майже сорок кваліфікованих операторів, що дозволяє швидко виконувати досить масштабні проекти.

Однак власне аерознімальні роботи доводилося замовляти на стороні, що часом призводило до зриву строків їх виконання, а також спричинювало додаткові непрогнозовані витрати через велику завантаженість аерознімальних компаній. Проблема ще більше загострилася із зростанням попиту на кольорове аерофотознімання, тому що в Україні досить обмежене число компаній мало сучасні плівкові аерознімальні камери і проявні машини.

Саме тому ми із великим зацікавленням стежили за розробленням цифрової фотограмметричної камери сканувального типу 3-DAS-1, яке у 2002 р. розпочало ДНВП "Геосистема" (Україна) спільно з фірмою "Wehrli and Associates" (США). Серійне виробництво камери 3-DAS-1 підприємство розпочало в 2005 році.

**Рішення про закупівлю.** Заявлена виробником

ціна камери в 250 тис. доларів з поетапною виплатою давала нам реальний шанс на створення власного аерознімального підрозділу, тим більше, що в нас на той час вже склалися добрі взаємини з однією з вінницьких авіакомпаній, що мала кілька літаків Ан-2, обладнаних аерофотознімальними люками.

Вигоди від придбання камери були очевидні. Ми одержували можливість самостійного виконання кольорового цифрового аерофотознімання, що забезпечувало якість зображень та гарантований позитивний результат при скануванні плівок.

Були, однак, і сумніви, на яких варто зупинитися докладніше. Перше, на що ми звернули увагу, це менша, у порівнянні з плівковою камерою, ширина захоплення. Порівнявши кутове поле зору 3-DAS-1 (36°) із плівковою камерою RC30 (64°), ми виявили значне збільшення польотного часу через подвоєння числа маршрутів. Однак детальніший розрахунок показав, що реальна різниця в часі не така вже й істотна.

Допустимо, ми плануємо аерознімання, розраховуючи одержати розмір пікселя на місцевості 0,1 м. У разі використання плівкової камери RC30, робоча зона знімка якої 220 мм, відсканованого з типовим розрізненням 16 мкм, дасть нам 13 750 пікселів, або 1375 м на місцевості. З урахуванням 40 %-го міжмаршрутного перекриття робоча зона захвату RC30 становитиме 825 м. Для 3-DAS-1, що має 8 000 пікселів, ширина на місцевості становитиме 800 м, а робоче захоплення з урахуванням 20 %-го міжмаршрутного перекриття – 640 м.

Таким чином, кількість маршрутів при зніманні камерою 3-DAS-1 виявилась лише на 30 % більшою, ніж камерою RC30. Оскільки передбачалося використання відносно економічного Ан-2, то ми визнали це прийнятним.

Практикування при зніманні 3-DAS-1 удвічі меншого міжмаршрутного перекриття цілком виправдане з таких міркувань:

- менше кутове поле зору камери значно зменшує "завали" будинків на краях знімків;
- відсутність процесу фототріангуляції в її традиційному розумінні;
- потрібне стереоскопічне перекриття уздовж маршруту полегшує дешифрування.



За півторарічний період користування камерою 3-DAS-1, ми вкрай рідко використовували перекриття понад 20 % – лише при зніманні деяких районів кримського узбережжя з перепадами висот до 600 м. Стандартно застосовували поперечне перекриття 15 %, а при наявності висотної забудови або вираженого рельєфу – 20-30 %.

Серйозний сумнів викликало також питання придбання дорогої інерційної GPS-системи (IMU/GPS) Arplanix POS AV 510. Як відомо, 3-DAS-1 є камерою сканувального типу, вона вимагає обов'язкової наявності подібної системи для вимірювання траєкторії руху й кутових елементів орієнтування в процесі польоту. Причому висока вартість такої системи (понад 200 тис. доларів) була не останнім аргументом для сумнівів.

Маючи багаторічний досвід роботи у традиційній фотограмметрії, ми звикли покладатися винятково на точність вимірювання координат опорних точок і якість вимірів фототріангуляції. Ці фактори завжди були нами вивірені й завжди піддавалися перехресному контролю. Тому думка про те, що відтепер точність зданої замовником продукції залежатиме від "чорного ящика" IMU/GPS, не викликала в нас особливого ентузіазму. А запевнення розробників камери в тому, що знімання можна буде виконувати взагалі без планово-висотної прив'язки знімків, здавалися занадто самовпевненими. І хоча нам було відомо, що подібний підхід давно апробований і вже багато років використовується в лазерному скануванні, ми, однак, не могли утриматись від певного скепсису.

Зараз, "налітавши" за минулий рік більш як 250 годин при масштабах знімання від 1:8 000 до 1:25 000, можемо упевнено стверджувати, що система дійсно працює. Жоден з декількох десятків знятих об'єктів не був забракований і не потребував повторного зальоту з "вини" POS AV 510. Причому в 70-80 %-х випадків ми дійсно одержали середньоквадратичне відхилення координат у плані менше ніж один піксель, а опорні точки використовувались тільки для контролю.

Правда, в окремих випадках (звичайно, коли базова станція була віддалена на відстань понад 60 км від об'єкта знімання) похибка сягала двох пікселів. Однак більша частка цієї похибки була систематичною, і ми легко усували такий "дрейф" за допомогою процедури мікротріангуляції, вносячи поправки в положення кожного маршруту за вимірами опорних точок. Також необхідно зазначити, що практичний контроль одержуваних з

POS AV 510 кутових елементів орієнтування здійснюється автоматично щораз, коли виконується процедура ректифікації знятих "сирих" зображень. Через те що кольорові RGB-канали на сенсорі камери рознесені приблизно на 0,1 мм у напрямку польоту, та ж сама точка місцевості знімається кожним кольоровим каналом не одночасно, а з інтервалом приблизно в 1/50 с. І оскільки камера в кожний момент часу має інші елементи зовнішнього орієнтування (вимірювані системою GPS/IMU із частотою 200 разів на секунду), то кожний із трьох кольорових каналів проходить, незалежно від двох інших, свою процедуру ректифікації (мал. 1). Таким чином, відсутність на ректифікованому кольоровому зображенні видимих розбіжностей кольорів і дотримання прямолінійності контурів можливе тільки при правильному вимірюванні та врахуванні істотних елементів зовнішнього орієнтування в кожний момент знімання.



Мал. 1. Фрагмент вихідного ("сирого") зображення місцевості й ректифіковане зображення

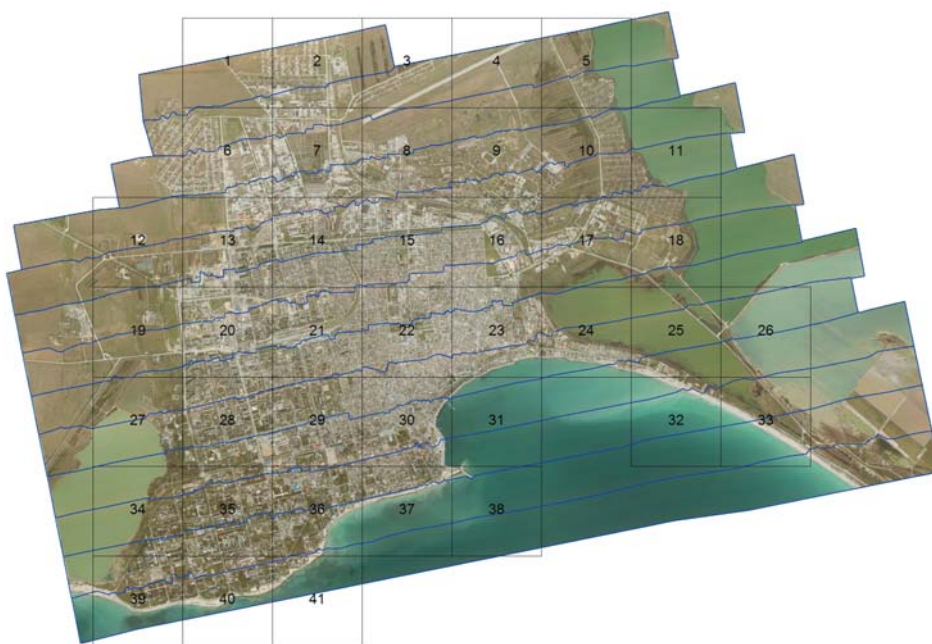
І нарешті, останній сумнів щодо камери 3-DAS-1, який у нас ще залишався, стосувався технології оброблення матеріалів знімання. Оскільки ми із самого початку працювали на фотограмметричних станціях ЦФС "Дельта", які також, як і 3-DAS-1, були розроблені в ДНВП "Геосистема", то проблема була не особливо гострою. Розробник аерокамери гарантував повну сумісність обох продуктів і єдиний технологічний ланцюжок. Проте ми розуміли, що однак потрібно буде провести перепідготовку та навчання операторів для освоєння трохи видозміненої (в порівнянні із традиційною) технології оброблення матеріалів аерознімання.

Не можна стверджувати, що освоєння нової техніки пройшло зовсім гладко, але непереборних проблем не виникало. Процес стереоскладання для оператора-фотограмметриста дійсно нічим не відрізняється від роботи із аналоговими знімками традиційної камери центральної проекції. Двогодинного тренінгу для операторів виявилось досить, щоб засвоїти нюанси використання цифрових знімків 3-DAS-1 у порівнянні зі звичайними аналоговими знімками. Можливість вибору кута конвергенції стереозоб-



раження в  $16^\circ$ ,  $26^\circ$  або  $42^\circ$  за рахунок використання стереопар з різних комбінацій знімків (передній, задній і надирний) істотно підвищувала дешифрувальні властивості зображень і полегшувала роботу оператора.

Виготовлення ортофотопланів також значно спростилося, оскільки тепер для формування мозаїки ортофотоплану досить було провести лінії порізів лише для одного-двох десятків безперервних маршрутів, а не для сотень окремих знімків.



Мал. 2. Приклад ортофотомозаїки: масштаб зальоту 1:8 000; роздільна здатність на місцевості 7,2 см

Більше зусиль довелося докласти бригаді фототриангуляції, що освоювала нові процеси, такі як вирівнювання GPS/IMU-вимірів з допомогою програмного забезпечення Arplanix PosPack та ректифікація отриманих з камери зображень. На них також було покладено контроль точності за опорними точками і створення датуму за переходом з WGS-84 у систему координат замовника, зазвичай це СК-63. Спочатку запропонована розробником програмного забезпечення Arplanix PosPack схема працювати в "рідній" для GPS/IMU системі координат WGS84 (UTM), а перерахування в СК-63 виконувати лише на кінцевому етапі (перед здачею замовникові) нас не влаштувала. У результаті спільних зусиль програмне забезпечення Delta/Digitals було доопрацьовано, що дало можливість відкривати один раз ректифіковані знімки в будь-якій системі координат, вибираючи відповідний датум перерахування.

**Практичне використання камери 3-DAS-1.** Ми придбали цифрову аерокамеру 3-DAS-1 у комплекті з GPS/IMU Arplanix POS AV 510 на початку осені 2006 року. У комплект поставки, крім власне камери, входила гіростабілізувальна плат-

форма і керівний комп'ютер заводського виробництва з двома змінними RAID-масивами по 1,8Тб "чистого" об'єму кожний. Живлення всього комплексу відбувається від бортової мережі 28 В і споживає він, залежно від режиму роботи, приблизно 15-18 А. Встановлення всього устаткування в підготовлений до роботи літак займає 30-40 хвилин, куди входить і час на тестування працездатності всіх компонентів аерознімального комплексу, яке виконується до зльоту. Керує комплексом у польоті один оператор.

Наземне забезпечення представлено двома базовими GPS-станціями. Ми використовуємо Trimble R5700. Приймачі встановлюються на пунктах із відомими координатами, максимально наближеними до об'єкта знімання (<50 км).

Планування зальоту виконується в програмному середовищі Delta/Digitals, використовуючи при цьому скановані карти масштабу 1:100 000 або космічні знімки Google Earth. Схема зальоту площинних об'єктів, що включає тривимірні траєкторії всіх маршрутів, задається в автоматичному режимі, для лінійних об'єктів – у напівавтоматичному. Готова схема передається на комп'ютер аерознімальної камери, де система керування польотом, що зв'язана із GPS-прийма-

чем з комплекту Arplanix, автоматично включає/відключає камеру, а також постійно виводить на екран у кабіні пілота сигнал про відхилення від траєкторії запланованого польоту. Система дозволяє льотчикові при нормальних погодних умовах витримувати траєкторію маршруту з відхиленням не більше  $\pm 15$  м у плані й по висоті.

Обраний нами формат запису (42 біти зі стисненням без втрат) дозволяє фіксувати близько 9-ти годин знімання на один RAID-масив місткістю 1,8 Тб. Усього ми використовуємо чотири таких змінних RAID-масиви. Після виконання знімання дані переписуються на "великий" офісний накопичувач, що дозволяє зберігати 7 Тб даних, на якому в подальшому виконується їх ректифікування і наступне оброблення.

Виконані нами за допомогою цифрової аерознімальної камери 3-DAS-1 проекти умовно можна розділити на кілька основних категорій:

- аерознімання міських населених пунктів для цілей інвентаризації (масштаб знімання 1:8 000-1:12 000, роздільна здатність на місцевості 0,07-0,10 м, допуск точності  $\pm 0,2$  м);
- аерознімання сільських населених пунктів для



цілей інвентаризації (масштаб знімання 1:14 000-1:16 000, роздільна здатність на місцевості 0,12-0,15 м, допуск точності  $\pm 0,4$  м);

- лінійне знімання залізниць і басейнів річок;

- площове знімання лісів для цілей лісотаксації та інвентаризації (масштаб знімання 1:25 000, роздільна здатність на місцевості 0,23 м, допуск точності  $\pm 1,0$  м).

Усього за 2010 р. було знято більш як 120 населених пунктів, 1200 км лінійних об'єктів і 42 тис. км<sup>2</sup> площ у Запорізькій та Херсонській областях із сумарним нальотом понад 450 годин. Аерокамера експлуатувалася в досить жорстких умовах, оскільки для Ан-2 характерні високий рівень вібрації та відсутність герметизації. Аерознімальний комплекс довів свою високу надійність в експлуатації. За весь час ми мали тільки одну відмову в роботі стабілізуювальної

платформи (дефект усунув виробник). Також було зафіксовано вихід з ладу жорсткого диска в одному зі змінних дискових RAID-масивів, що не привело до втрати інформації, оскільки ми практикуємо запис даних з надмірністю за стандартом RAID3.

На всіх об'єктах замовники виконували незалежний вибіркового контролю точності, який проводився шляхом визначення координат чітких контурних точок за допомогою GPS-вимірювань. Виявлені при цьому відхилення для масштабів знімання 1:10 000-1:12 000 були в межах допуску і не перевищували середньої похибки  $\pm 0,15$  м.

З галереєю знятих нами об'єктів можна ознайомитися за адресою: <http://www.vinmap.net/?act=new-gallery>

Надійшла 24.10.11

\* \* \*

#### До уваги авторів

1. Матеріали до "Вісника геодезії та картографії" подаються у текстовому редакторі Microsoft Word з дотриманням таких вимог: параметри сторінки А4; всі поля на сторінці по 2 см; розмір шрифту 10 пт; інтервал одинарний; автоматичні переноси не застосовувати; абзац починати за допомогою клавіші "ENTER".

2. Формули набираються у редакторі формул програми Microsoft Word. Розміри шрифту для формул: звичайний – 10 пт, великий індекс – 7 пт, малий індекс – 6 пт, великий символ – 11 пт, малий символ – 8 пт. **Ширина формули не повинна перевищувати 8 см.**

3. Малюнки, фото та схеми подаються **окремими файлами у графічному вигляді** у форматах \*.eps (векторний), \*.tif (растровий) з роздільною здатністю не менше 300 dpi, в моделі СМУК. Графічні зображення, вставлені в Microsoft Word або в інші редактори, **не приймаються!**

4. Розмірність малюнків і таблиць (ширина/висота): 80 / до 230 мм, 130 / 230 мм, 170 / до 230 мм. Розмір шрифту для таблиць – 10 пт. Кожна таблиця повинна мати заголовки.

5. До статті мають входити такі елементи: шифр УДК; резюме та назва статті українською, російською та англійською мовами; основний текст відповідно до вимог ВАК України; список літератури, укладений за правилами стандартів і в алфавітному порядку; назва установи, де працює (вчиться) автор; відомості про авторів (**прізвище, повне ім'я та по батькові**, вчений ступінь, вчене звання, домашня і службова адреси, **телефон, електронна пошта**, інтернет-сторінка для зв'язку).

6. Стаття і додатки подаються на компакт-диску. Роздрукування матеріалів виконується через два інтервали.

*Редакція*