

# КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

## CARTOGRAPHY AND AERIAL PHOTOGRAPHY

УДК 528.721

А. ВОВК, В. ГЛОТОВ, А. ГУНІНА, А. МАЛЦЬКИЙ, К. ТРЕТЯК, А. ЦЕРКЛЕВИЧ

<sup>1</sup> Кафедра геодезії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

<sup>2, 3\*</sup> Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел.: (098)-59-21-463, ел. пошта: gunina\_alla@mail.ru

<sup>4, 5</sup> Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

<sup>6</sup> Кафедра інженерної геодезії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ ТА ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА TRIMBLE UX-5

**Мета.** Метою цієї роботи є аналіз та дослідження можливостей безпілотних літальних апаратів (БПЛА) Trimble UX5 для створення ортофотопланів і цифрових моделей рельєфу (ЦМР), а також виявлення і усунення можливих недоліків під час аерознімання та опрацювання аерознімків. **Методика.** Перед початком аерознімальних робіт проводилось рекогносцирування місцевості. Для кобрирування та глісади обирали майданчики, які мали відповідні площадні параметри, вказані у технічних характеристиках БПЛА. Для підготовчих проектно-розрахункових робіт використовувалось програмне забезпечення Trimble Access Aerial Imaging, яке інстальовалось у захищений польовий контролер Trimble Tablet, що застосовується для управління UX5. Аерознімання з БПЛА виконувалось цифровою камерою SONY NEX 5R. Оскільки на БПЛА UX5 не передбачено встановлення двохчастотного GPS-приймача для отримання у польоті значень центрів проекцій, то зроблено розряджену планово-висотну прив'язку (ПВП) розпізнавальних знаків. Для оперативного створення ортофотопланів застосовували фотограмметричний модуль Trimble Business Center Photogrammetry Module фірми Trimble, за допомогою якого створювали хмару точок, трикутну нерегулярну сітку (TIN-модель) і план з відображенням горизонталей місцевості, над якою проводилося аерознімання. Для підтвердження можливості застосування цифрового стереофотограмметричного методу розраховано апріорну оцінку точності просторових координат місцевості. Для оцінювання точності на місцевості визначено контрольні точки на трьох експериментальних ділянках. Координати контрольних точок визначали під час проведення ПВП GPS-приймачами Trimble R7 у режимі RTK. Після створення ортофотопланів на них виміряні координати вищезначених контрольних точок і обчислено середні квадратичні похибки (СКП) відносно координат, виміряних на місцевості. **Результати.** За аерозніманням, проведеним з висот 150 м, 200 м та 300 м, за отриманими зображеннями, були обчислені СКП положення контурних точок місцевості, які підтверджують можливість застосування літаків моделі Trimble UX5 для складання топографічних планів у масштабах 1:500, 1:1000 та 1:2000 з перерізом горизонталей 0,5-1 м для цих масштабів. **Наукова новизна.** На підставі критичного аналізу конструкторських та експлуатаційних особливостей БПЛА Trimble UX5 розроблено технологічну схему оцінки придатності БПЛА для аерознімального процесу як за кількісними, так і за якісними параметрами. Це дасть можливість у подальшому оцінювати будь-які моделі БПЛА стосовно застосування їх у цифровому стереофотограмметричному методі створення великомасштабних ортофотопланів та топографічних планів. **Практична значущість.** Застосування БПЛА Trimble UX5 дає можливість знімати території сільської місцевості, отримуючи необхідну точність для складання великомасштабних топографічних і кадастрових планів під час застосування цифрового стереофотограмметричного методу, що дає змогу значно здешевити процес створення вищезначених планів.

*Ключові слова:* безпілотний літальний апарат; аерознімання; цифрова камера; калібрування камер; ортофотоплан; цифрова модель рельєфу.

#### Вступ

За останні 10 років використання БПЛА, їх розробка та удосконалення [Галушко, 2005; Bendig, 2012] стрімко зростає в усьому світі [Dalamagkidis, 2009; Przybilla, 1979; Wester-Eb-

binghaus, 1980]. Фактично застосування БПЛА для цілей аерознімання почалося більш ніж 30 років тому. Підвищення доступності БПЛА призвело до їх широкого використання для зростаючого кола завдань дистанційного зондування [Bas Altena, 2014; Kelcey, 2012].

На основі використання БПЛА можна отримувати різноманітну інформацію, таку як: моделювання археологічних пам'яток [Naala, 2013; Lambers, 2007], тривимірне створення моделей для міського планування, складання кадастрових планів та інше. [Cosyn, 2013; Создавайте карты высочайшего качества; Новый стандарт в картографировании и геодезии].

В останні 5 років розроблено технологію і відповідні методи, які практично замінюють класичне аерознімання з пілотованих літаків [Petrie, 2013] та традиційні методи збору та оброблення інформації [Colomina, 2014]. Наприклад, Gatewing (Компанія Trimble) зосереджується тільки на невелику частину інформації з дистанційного зондування, зокрема даних аерознімання для геопросторового картографування.

Застосування БПЛА для цілей картографування [Cox, 2006; Elkaim, 2013; Everaerts, 2009; Meszaros, 2011] має великий потенціал, порівняно з альтернативними наземними топографо-геодезичними методами, тому їх все частіше використовують у геодезичному і картографічному виробництві, особливо для тих робіт, які пов'язані з дотриманням норм з техніки безпеки [Hadjimitsis, 2004; Vasuki, 2014], а саме: вздовж шосе та залізничних колій, а також інших небезпечних або в недоступних місцях (схили кар'єрів, заболочені території та ін. У публікації [Bas Altena, 2014] подано порівняльний аналіз двох систем: Trimble UX5 і Microdrone MD4-1000. Перевага таких систем полягає у високій маневреності та гнучкості роботи безпілотних апаратів. Для Trimble UX5 характерні такі переваги:

- точність та якість отриманого зображення;
- всепогодна продуктивність;
- точні посадки в замкнутих просторах;
- повністю автоматичні робочі процеси для простоти використання і безпечної експлуатації.

Використання БПЛА в сукупності з компактною цифровою камерою дають змогу забезпечити картографічною продукцією, такою як ЦМР та ортофотоплани [Vallet, 2011]. Якість картографічної продукції залежить від засобів обробки. Рівень точності може погіршуватись спотвореннями, викликаними низькою якістю оптики об'єктива [Bas Altena, 2014]. Це при-

водить до виникнення паралаксів, що, своєю чергою, перешкоджає створенню точних стереомоделей.

Однією з нових розробок є створення ЦМР [Haarbrink, 2008], тривимірних векторних карт [Cramer, 2013], і ортофотопланів з високою роздільною здатністю [Harwin, 2012] за допомогою найсучасніших БПЛА та систем управління. Оптимізований для збору даних з БПЛА Trimble UX5, фотограмметричний модуль Trimble Business Center Photogrammetry Module створює вражаючі результати на основі даних: таких як хмара точок, трикутна нерегулярна сітка (TIN-модель) і карта ізоліній місцевості, над якою проводився політ [Новый стандарт в картографировании и геодезии]. Потім їх можна використати для обчислення обсягів, планування земляних робіт, дренажних робіт і безлічі інших функцій. Отримані ортофотоплани або ЦМР можуть слугувати основою для побудови карт, проектування та вирішення інших геодезичних задач. [Создавайте карты высочайшего качества; Новый стандарт в картографировании и геодезии]. Задовільні результати можна отримати з усіх платформ літальних апаратів, особливо, якщо є великий надлишок даних у перекритті зображень, що не тільки вигідно під час прив'язки, а й в разі намагання отримати точне зображення з високою роздільною здатністю для 3D-моделювання.

БПЛА стають основними засобами, спрямованими на фотограмметричний збір даних. Їх використання може бути економічно ефективним, особливо для великомасштабного аерознімання невеликих територій [Naala, 2011].

Серед переваг знімання БПЛА є можливість отримання цифрових зображень з висоти 100 метрів з високою роздільною здатністю, з використанням каліброваних неметричних цифрових камер малих і середніх форматів. Навчання операторів для цих цілей є порівняно простим і доступним для будь-якого інженера. [Новый стандарт в картографировании и геодезии].

Вихідні дані зображення залежать і змінюються під впливом джерел, які містять атмосферні умови та технічні характеристики давача [Smith, 1999]. Під час роботи БПЛА вплив вітру та теплові ефекти [Hadjimitsis, 2004;

Mahiny, 2007] можуть легко стати причиною виникнення досить великих кутових елементів зовнішнього орієнтування – до десятків градусів, що є проблемою для традиційної аналітичної фотограмметричного оброблення у програмному забезпеченні.

Зробивши короткий огляд літературних джерел, переконливо помітно, що вибрана тематика є сьогодні актуальною, що, до того ж, підтверджується значною кількістю публікацій з цієї теми.

### Мета

Метою цієї роботи є аналіз та дослідження можливостей БПЛА Trimble UX5 для створення ортофотопланів і ЦМР. Для визначення поставленої задачі зробимо огляд проведених експериментів і на цій підставі проаналізуємо недоліки під час аерознімання та опрацювання аерознімків та визначимо перспективи застосування БПЛА Trimble UX-5.

Однією з провідних фірм, яка виготовляє БПЛА для аерознімання, є відома у геодезичному світі корпорація Trimble. Декілька років тому фірма Trimble почала випускати БПЛА UX5 для виконання аерознімальних робіт невеликих територій. Як вже зазначено, тепер фактично зроблено революційний прорив у аерозніманні. Фактично сьогодні завдяки застосуванню БПЛА будь-який замовник самостійно може виконати для себе аерознімання відповідної території, не звертаючись до аерозагонів та не витрачаючи безліч часу на оформлення дозволів на аерознімання та фрахт літаків та гелікоптерів. Важливо ще зазначити, що завдяки невеликій висоті польоту отримуються знімки з високою роздільною здатністю, а відтак підвищується точність визначення просторових координат точок об'єктів.

Однак для доведення достовірності цих положень, на думку авторів, необхідно було всебічно проаналізувати та дослідити можливості БПЛА UX5, виявити можливі недоліки і запропонувати фірмі їх усунення. Це питання також є метою публікації.

### Методика

Нагадаємо спочатку основні характеристики БПЛА Trimble UX5:

- Діапазон висот польоту: 75–750 м, крейсерська висота: 150 м.
- Крейсерська швидкість польоту: 80 км/год.
- Максимальний час польоту: 50 хв.
- Дальність дистанційного керування: до 5 км.
- Якість знімка (розмір пікселя): до 5 см.
- Точність моделювання поверхні в плані:  $\pm 5$  см, по висоті:  $\pm 10$  см.
- Калібрована цифрова камера: SONY NEX 5R.

Проаналізуємо пристрої, технології аерознімання та оброблення отриманих зображень.

#### *Катапульта*

Завдяки досить складній конструкції необхідно точно притримуватися технології підготовки катапульти до пуску: катапульта повинна розташовуватися суто на горизонтальному майданчику і мати міцну опору, щоб запобігти ковзанню країв напрямної і сошок.

#### *Проект аерознімання*

Для підготовчих проектно-розрахункових робіт фірма запропонувала програмне забезпечення Trimble Access Aerial Imaging, яке інсталується в захищений польовий контролер Trimble Tablet, що використовується для управління UX5. Окрім того, цей комп'ютер слугує для виконання передполітного контролю правильності виконання технологічної схеми запуску літака. Більшість перевірок Trimble UX5 виконувались автоматично програмним забезпеченням і не потребують втручання оператора. Це, своєю чергою, дало можливість оперативно (до 5 хвилин) підготувати літак до зльоту.

#### *Дослідження знімальної камери*

Аерознімання з БПЛА виконувалось цифровою камерою SONY NEX 5R. Технічні характеристики камери наведено у табл.1.

Ця цифрова камера не є метричною, а відтак необхідно, щоб елементи внутрішнього орієнтування та дисторсія визначено і враховано під час подальшого оброблення отриманих зображень. Недоліком камери є шторний засувач, який дає змазування зображення (спостерігається за відповідного збільшення) з одного боку знімка (рис. 1).

Таблиця 1

**Основні технічні характеристики цифрової камери SONY NEX 5R**

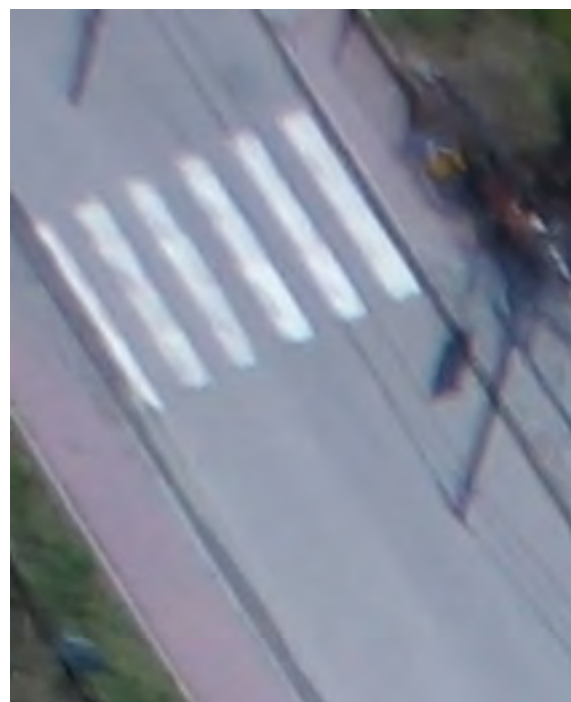
Table 1

**Main technical specifications of SONY NEX 5R digital camera**

Розмір матриці	APS-C (23,4×15,6 мм)
Максимальне розширення	4912×3264
Швидкість зйомки	10 кадр./с
Фокусна віддаль	15 мм
Витримка	30 – 1/4000 с
Інтерфейс	USB 2.0, HD-відео, HDMI, аудіо, Wi-Fi
Розмір	111×59×39 мм, без об'єктива
Вага	218 г, без елементів живлення і об'єктива



a  
a



b  
b

Рис. 1. Зображення фрагменту знімків: а – контури відображені у правій частині знімку; б – ці ж контури відображені у лівій частині знімку

Fig. 1. Image fragment: a – contours shown at the right-hand side of the image; b – the same contours shown at the left-hand side of the image

Рекогносцирування району робіт та складання проекту планово-висотної прив'язки

Перед початком аерознімальних робіт необхідно провести рекогносцирування місцевості. Майданчик на місцевості необхідно вибрати таким, який би задовольняв умови для запуску та посадки БПЛА. Потрібно враховувати, що ці місця повинні бути горизонтальними та мати відповідні лінійні та площадні параметри, які вказують у технічних характеристиках для цього БПЛА.

Форму розпізнавального знака краще всього вибрати у вигляді кутника або хреста (рис. 2).

Підготовка БПЛА до польоту

Як зазначено, під час роботи з БПЛА Trimble UX5 необхідно строго притримуватися інструкції, щоб не пропустити будь-який, навіть незначний процес під час підготовки літака до зльоту. У реалізації цих процесів немає складності або нетехнологічності. За допомогою польового контролера дії не тільки пришвидшуються, але й контролюються.



*a*  
*a*



*б*  
*b*

*Рис. 2. Видяд розпізнавальних знаків намальованих на поверхні (аерознімання з БПЛА UX5, H = 150 м): а – кутподібний, б – хрестоподібний*

*Fig. 2. Marking drawn on the surface (aerial imaging from UAV UX5, H = 150 m):*

*a – angle-shaped, b – cross-shaped*

#### *Проведення аерознімального польоту*

Позитивним у аерознімальному польоті UX5 є те, що практично він проходить в автоматичному режимі, унеможливило екстремальні ситуації. Баражування літака за маршрутними напрямками є досить стабільними (кути не перевищують 5–10 градусів), однак це виконується тільки в разі вітру не більше 4–5 м/с. Тобто, фактично параметри літака вкладаються у допуски аерознімання (згідно з інструкцією виконувати аерознімання дозволяється, коли вітер не більше ніж 7 м/с). Стабільність проходження маршрутів та мінімальні кути нахилу досягаються швидкістю, а можливе “рискування” – збільшеним поперечним перекриттям знімків.

Автори дослідили літак UX5 на різних ділянках у разі вітру не більше ніж 5 м/с. Графіки та діаграми значень для другої ділянки, знятої літаком (бортовий номер UX5-SYS-002): зміни висоти польоту та кутів тангажу, крену та зносу, а також розподіл цих значень подано на рис. 3–12.

Ми провели короткий аналіз отриманих елементів.

1. Зміна висоти польоту (рис. 3) становить порядку 20 м, що за масштабу знімання 1:13300 ( $H = 200$  м,  $f = 15$  мм) буде 10 %, а відтак не перевищує максимально допустиму величину (13 %).

2. Графік розподілу зміни висоти польоту (рис. 4) у момент експонування повністю підпадає під нормальний закон розподілу. Отже, систематичної складової фактично немає, тобто висота польоту контролюється в межах точності бортового GPS-приймача.

3. З графіка значень кутів тангажу (рис. 5) видно, що кути максимально коливаються від  $-8^\circ$  до  $+12^\circ$ . Літак майже не мав нахилу фюзеляжу догори чи донизу. Це підтверджується графіком розподілу кутів тангажу (рис. 6), який подібно до попередніх значень, підлягає нормальному закону розподілу.

4. З графіка значень кутів крену (рис. 6) видно, що кути коливаються максимально від  $-2^\circ$  до  $+12^\circ$ . Як і в першому випадку, систематичних похибок, що підтверджується діаграмою розподілу похибок (рис. 7).

5. Графіки розподілу кутів зносу (рис. 8–11) свідчать про відсутність систематичних похибок, а діапазон кутів коливається від  $+4$  до  $-4$  градусів. Це також підтверджується діаграмою нормального закону розподілу.

Експерименти проведені також з висоти знімання 300 м. Результати зміни висоти та кутів практично не відрізняються від представлених. Однак, у період аерознімання з висоти 300 м було зауважено втрачання зв'язку між контролером і літаком, коли він віддалився на 400 м

від точки старту, що привело до аварійної посадки. Хоча місцевість була відкритою. Щоб запобігти у наступних польотах цьому негативному явищу, прийнято рішення переміститися на автомобілі за літаком, і це дало позитивний результат.

Необхідно зазначити, що за висоти 150 м і менше переривання зв'язку не спостерігалось.

Оброблення результатів аерознімання (створення ортофотопланів). Для оперативного створення ортофотопланів фірма Trimble запропонувала фотограмметричний модуль Trimble Business Center Photogrammetry Module,

за допомогою якого можливо створити хмару точок, трикутну нерегулярну сітку (TIN-модель) і план з відображенням горизонталей, місцевості над якою проводиться політ.

Необхідно зазначити, що в разі створення 3D-моделі практично завжди необхідно її корегувати, оскільки на ортофотопланах виникали спотворення контурів (рис. 13).

Перейдемо тепер до аналізу точності визначення просторових координат точок об'єктів топографічних планів, складених за допомогою аерознімків, зроблених з БПЛА UX5.

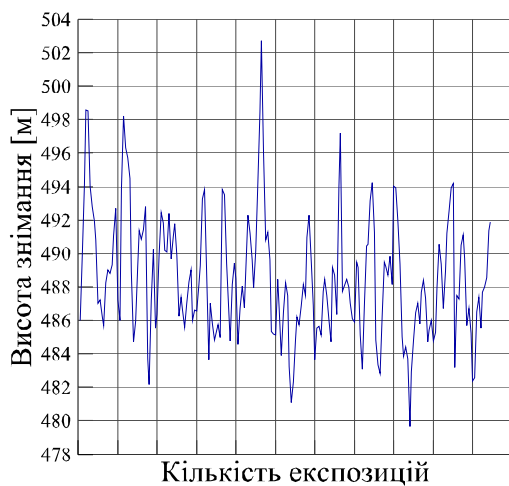


Рис. 3. Значення висоти знімання в момент експозицій  
Fig. 3. Shooting height values at exposure times

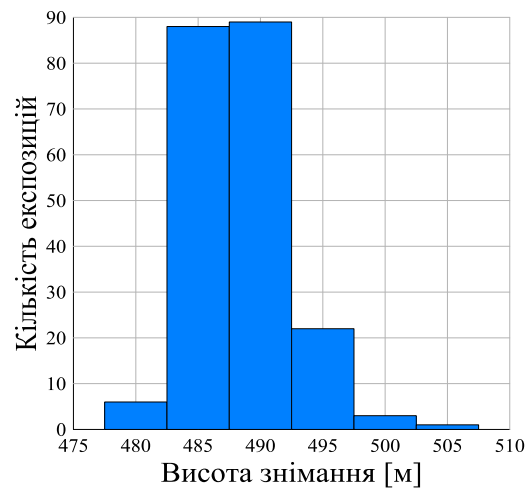


Рис. 4. Розподіл зміни висоти знімання в момент експозицій  
Fig. 4. Distribution of the shooting height changes at exposure times

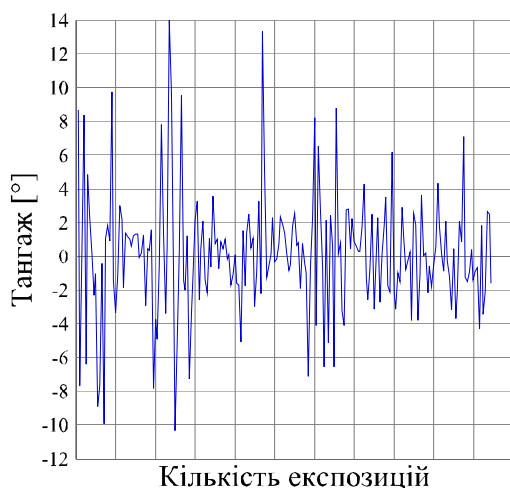


Рис. 5. Значення кутів тангажу в момент експозицій  
Fig. 5. Pitch angle values at exposure times

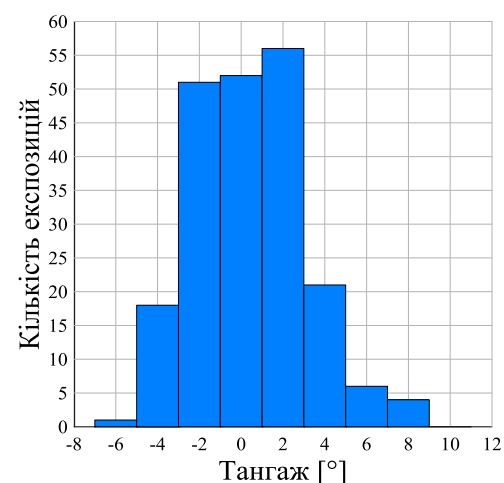


Рис. 6. Розподіл значень кутів тангажу в момент експозицій  
Fig. 6. Pitch angle distribution at exposure times

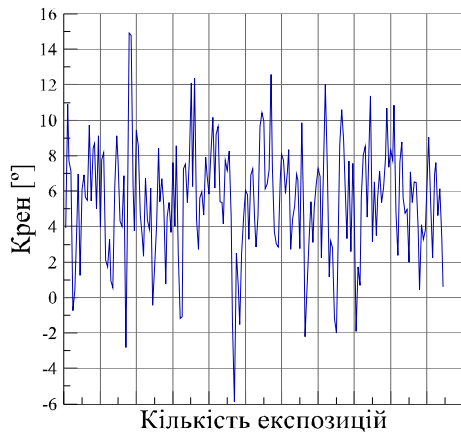


Рис. 7. Значення кутів крену в момент експозицій  
Fig. 7. Bank angle values at exposure times

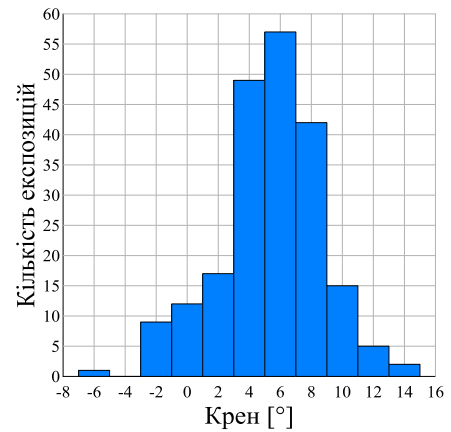


Рис. 8. Розподіл значень кутів крену в момент експозицій  
Fig. 8. Bank angle distribution at exposure times

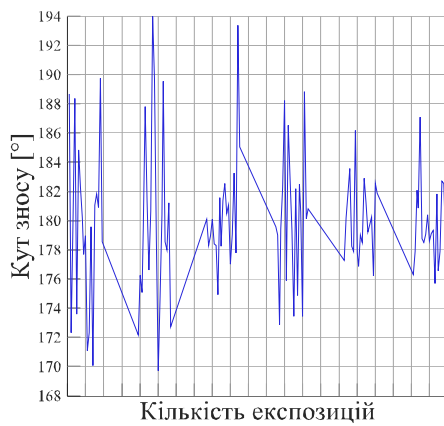


Рис. 9. Зміна кутів зносу в момент експозицій (курс 181°)  
Fig. 9. Drift angle changes at exposure times (heading 181°)

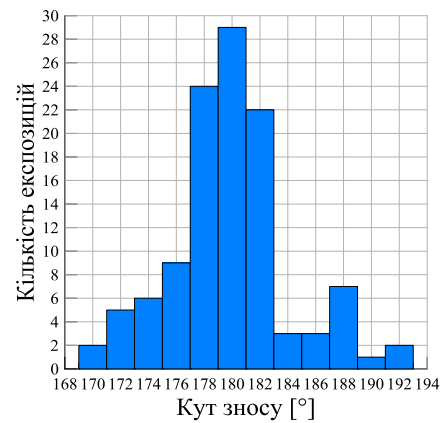


Рис. 10. Розподіл значень кутів зносу в момент експозицій (курс 181°)  
Fig. 10. Drift angle distribution at exposure times (heading 181°)

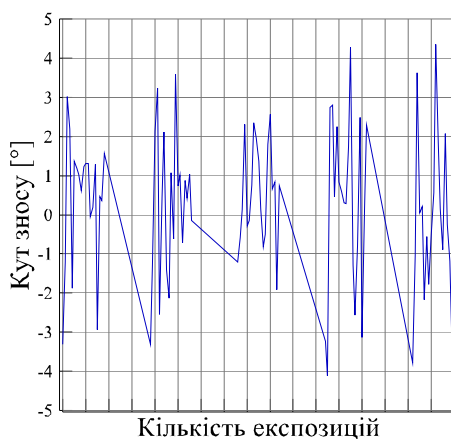


Рис. 11. Зміна кутів зносу в момент експозицій (курс 1°)  
Fig. 11. Drift angle changes at exposure times (heading 1°)

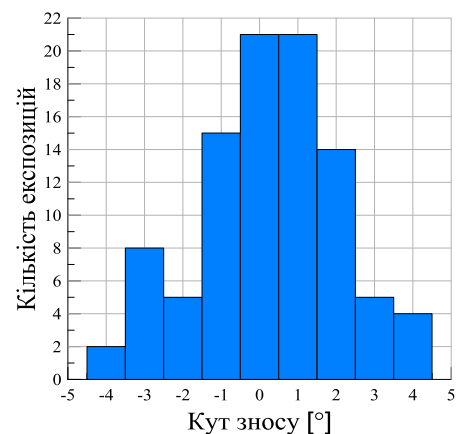


Рис. 12. Розподіл значень кутів зносу в момент експозицій (курс 1°)  
Fig. 12. Drift angle distribution at exposure times (heading 1°)



Рис. 13. Спотворення контурів на ортофотоплані:  
 а – зображення на цифровому знімку; б – зображення на ортофотоплані

Fig. 13. Contour distortion on orthophotomap:  
 a – digital image; b – orthophotomap

Для підтвердження можливості застосування цифрового стереофотограмметричного методу розраховували апріорну оцінку точності визначення просторових координат місцевості.

Середні квадратичні похибки визначали за формулами (1). [2]:

$$\begin{aligned}
 m_x &= m_{x_1} \left[ \left( \frac{m_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{m_p}{f/H} \right)^2 + \left( \frac{x_1^2}{f(H/B)} m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left( \frac{x_1 y_1}{f(H/B)} m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left( \frac{y_1}{f/H} m_{\Delta x} \right)^2 + m_{\omega}^2 + \left( \frac{x_1}{f} m_{v'} \right)^2 \right]^{1/2}; \\
 m_y &= m_{y_1} \left[ \left( \frac{m_{y_1}}{y_1} \right)^2 + \left( \frac{m_p}{f/H} \right)^2 + \left( \frac{x_1^2}{f(H/B)} m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left( \frac{x_1 y_1}{f(H/B)} m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left( \frac{y_1}{f/H} m_{\Delta x} \right)^2 + \left( \frac{x_1}{f} m_{v'} \right)^2 \right]^{1/2}; \\
 m_z &= m_{x_1} \left[ \left( \frac{m_p}{f/H} \right)^2 + \left( \frac{x_1^2}{f(H/B)} m_{\Delta\alpha} \right)^2 + \left( \frac{x_1 y_1}{f(H/B)} m_{\Delta\omega} \right)^2 + \left( \frac{y_1}{f/H} m_{\Delta x} \right)^2 + \left( \frac{x_1}{f} m_{v'} \right)^2 \right]^{1/2},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де  $m$  – знаменник масштабу знімання (10000, 13300, 20000),  $f$  – фокусна віддаль ЦНЗК ( $f = 15$  мм),  $x_1, y_1$  – абсциса та ордината відповідно кадрової рамки ПЗЗ-матриці ЦНЗК ( $x_1 = 7,5$  мм,  $y_1 = 11$ ),  $m_p = 0,003$  мм – СКП вимірювання координат точок знімку згідно з технічними характеристиками знімальної камери,  $m_a = m_{\omega} = m_k = m_{v'} = m_{\Delta\alpha} = m_{\Delta\omega} = m_{\Delta k} = 3''$  – допустима СКП визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування (після проведення зовнішнього орієнтування зображень),  $m_B = 5$  см; 10 см; 20 см – відповідно для масштабів 1:500, 1:1000, 1:2000 згідно з технічними характеристиками знімальної камери.

У результаті обчислень отримано значення СКП для висот фотографування 150 м; 200 м; 300 м, які подані в табл. 2.

Ці значення відповідають точності складання топографічних планів у масштабах 1:500, 1:1000 та 1:2000 з перерізом горизонталей 0,5–1 м для цих масштабів та 1 м для третього масштабу.

Для проведення оцінки точності визначення координат точок місцевості визначено контрольні точки на трьох ділянках. Координати контрольних точок визначалися під час проведення ПВП GPS-приймачами Trimble R7 у режимі RTK. Після створення ортофотопланів (масштабів 1:500,  $H = 150$  м; 1:1000,  $H = 200$ ; 1:2000,  $H = 300$  м) у



програмному середовищі Trimble Business Center Photogrammetry Module з цих матеріалів знято координати вищезначених контрольних точок і визначені СКП, значення яких показано у табл. 3.

Подані дані підтвердили можливість застосування літаків моделі UX5 для складання великомасштабних (1:2000 1:500) топографічних планів та ортофотопланів місцевості.

Таблиця 2

### Апріорне значення СКП

Table 2

#### Prior RMS value

№ моделі UX5	№ ділянки	Висота знімання (м)	B (м)	m <sub>зн</sub>	Mп	Переріз горизонталей (м)	m <sub>x</sub> (м)	m <sub>y</sub> (м)	m <sub>z</sub> (м)
	1	150	30	1:10000	1:500	0,5	0,08	0,11	0,16
UX5-SYS-002	2	200	40	1:13300	1:1000	0,5; 1,0	0,11	0,15	0,23
	3	300	60	1:20000	1:2000	1,0	0,15	0,20	0,30

Таблиця 3

### Значення СКП за контрольними точками

Table 3

#### RMS value by control points

№ моделі UX5	№ ділянки	H (м)	Кількість контрольних точок	m <sub>x</sub> (м)	m <sub>y</sub> (м)	m <sub>z</sub> (м)
	1	150	24	0,01	0,05	0,10
UX5-SYS-002	2	200	22	0,08	0,07	0,14
	3	300	24	0,13	0,14	0,26

### Наукова новизна

На підставі критичного аналізу конструкторських та експлуатаційних особливостей БПЛА Trimble UX5 розроблено технологічну схему оцінки придатності БПЛА для аерознімального процесу як за кількісними, так і за якісними параметрами. Це дасть можливість у подальшому оцінювати будь-які моделі БПЛА стосовно застосування їх у цифровому стереофотограмметричному методі створення великомасштабних ортофотопланів та топографічних планів.

### Практична значущість

БПЛА Trimble UX5 дає змогу збирати дані ефективнішим методом порівняно з традиційними методами знімання. Польоти проводяться в повністю автоматичному режимі, від зльоту до посадки, і не потребують навичок пілотування. Оператор просто сприяє польоту апарату,

а вбудовані програмні завдання забезпечують безпечний зліт і посадку під час кожного запуску. Це означає, що збір даних виконується без ризику для оператора.

Загалом конструкція катапульты і літака виправдовує себе для цілей великомасштабного картографування сільської місцевості та створення ортофотопланів та ЦМР. Це підтверджується достатніми, на наш погляд, обсягами контрольних експериментів.

Також треба зазначити, що літак моделі UX5 можливо застосовувати для отримання якісної інформації в разі вітру у межах до 5 м/с та висоті польоту до 300 м.

### Висновки

У результаті проведених експериментально-випробувальних робіт зробимо такі висновки:

1. Конструкція катапульты і літака виправдовує себе для цілей великомасштабного карто-

графування сільської місцевості. Це підтверджується достатніми обсягами контрольних експериментів.

2. На наш погляд, необхідно поліпшити та доповнити такі параметри та забезпечення літака:

а) каретку катапульты необхідно підсилити, оскільки в результаті пусків виникає люфт роликів з напрямною, а відтак є імовірність зривання каретки під час зльоту літака;

б) необхідно замінити кожух кріплення двигуна з пластмасового на металевий, оскільки за нештатного зльоту, а також у разі приземлення пластмасовий кожух тріскає, а це може, своєю чергою, привезти до аварії літака у польоті;

в) необхідно зробити підсилення нижньої частини корпусу літака: під час посадки внаслідок сильного удару та тертя виникають пошкодження і тріщини на корпусі;

г) розглянути можливість застосування цифрової знімальної камери з центральним засувачем;

д) розглянути можливість встановлення на літак двочастотного GPS-приймача з метою отримання у польоті координат центрів проекції з необхідною точністю, щоб вилучити в технологічну схему обробки планово-висотної прив'язки, а це, своєю чергою, дасть змогу збільшити точність визначення просторових координат точок місцевості;

е) розглянути можливість забезпечити літак парашутною системою для посадки на вибрану місцевість. Це дасть можливість уникнути ударів корпусу літака під час посадки та значно обмежити площу посадки;

ж) вдосконалити програмне забезпечення для усунення спотворень на ортофотопланах та 3D-моделях.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Галушко С. Беспилотные летательные аппараты кардинально изменят облик авиации будущего / С. Галушко // *Авиапанорама*. – 2005. – № 4. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://aviapanorama.narod.ru/journal/2005\\_4/bpla.html](http://aviapanorama.narod.ru/journal/2005_4/bpla.html)
- Лобанов А. Н. Фотограмметрия : учебник для вузов / А. Н. Лобанов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1984. – С. 552.
- Altena B. Assessing UAV platform types and optical sensor specifications / B. Altena, T. Goedeme // *ISPRS-Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2014. – Vol. II, № 5. – P. 17–24.
- Bäumker M. Investigations on the accuracy of the navigation data of unmanned aerial vehicles using the example of the system Mikrokopter / M. Bäumker, H. Przybilla // *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform.* – 2011. – Sci. XXXVIII-1/C22, – P. 113–118.
- Bendig J. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal and multispectral-imaging. / J. Bendig, A. Bolten, G. Bareth // *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform.* – 2012. – Sci. XXXIX-B1. – P. 345–349.
- Colomina I. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing / I. Colomina, P. Molina // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92. – 2014. – XXXVIII-1/C22. – P. 79–97.
- Cosyn P. Trimble ux5 aerial imaging solution, A new standard in accuracy, robustness and performance for photogrammetric aerial mapping / P. Cosyn, R. Miller // *WHITE PAPER, Trimble Survey*. – USA, 2013. – P. 1–7. – [Електронний ресурс]. – режим доступу: [http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/trimble\\_ux5\\_whitepaper\\_english\\_0.pdf](http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/trimble_ux5_whitepaper_english_0.pdf)
- Cox T. Earth Observation and Role of UAVs: A Capabilities Assessment / T. Cox, I. Somers, S. Fratello // *Technical Report. Civil UAV Team – Version 1.1*. – NASA 2006. – P. 1–35.
- Cramer M. RPAS im Einsatz für die Datenerfassung beim LGL BW / M. Cramer // In: *Presentation slides from the UAV Dach meeting – Rostock 2013*. – P. 1–15.
- Dalamagkidis K. On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system: issues, challenges, operational restrictions, certification, and recommendations / K. Dalamagkidis, K. Valavanis, L. Piegel // *Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, Springer-Verlag*. – Vol. 36. – 2009. – P. 197.
- Elkaim G. Principles of guidance, navigation and control of UAVs / G. Elkaim, F. Lie, D. Gebre-Egziabher // In: *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. – 2013. – Springer – ISBN 978-90-481-9708-8.
- Everaerts J. NEWPLATFORMS – Unconventional Platforms (Unmanned Aircraft Systems) for Remote Sensing / J. Everaerts // *EuroSDR official publication* – May 8, 2013. – No 56. – P. 102 [Електронний ресурс]. – режим доступу: <http://bono.hostireland.com/~eurosdr/publications/56.pdf>
- Haala N. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery / N. Haala, M. Cramer, M. Rothermel // *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* – 2013. – XL-1/W2. – P. 183–188.

- Haala N. Performance test on UAV-based photogrammetric data collection / N. Haala, M. Cramer, F. Weimer, M. Trittler // ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. – 2011. – XXXVIII-1/C22. – P. 7–12.
- Haarbrink R. Accurate DSM production from unmanned helicopter systems / R. Haarbrink, H. Eisenbeiss // ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. – 2008. – Sci. XXXVII, Part B1. – P. 1259 – 1254.
- Hadjimitsis D. An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs / D. Hadjimitsis, C. Clayton, V. Hope // International Journal of Remote Sensing. – 2004. – Vol.25, No 18. – P. 3651–3674.
- Harwin S. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery / S. Harwin, A. Lucieer // Remote Sens. – 2012. – Vol. 4. – P.1573–1599 – [Електронний ресурс]. – режим доступу: <http://dx.doi.org/10.3390/rs4061573>.
- Kelcey J. Sensor correction and radiometric calibration of a 6- band multispectral imaging sensor for UAV remote sensing / J. Kelcey, A. Lucieer // ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. – 2012. – XXXIX-B1. – P. 393–398.
- Lambers K. Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the late intermediate period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru / K. Lambers, H. Eisenbeiss, M. Sauerbier, D. Kupferschmidt, Th. Gaisecker, S. Sotoodeh, Th. Hanusch // Journal of Archaeological Science. – 2007. – Vol. 34, No 10. – P. 1702–1712.
- Mahiny A. A Comparison of Four Common Atmospheric Correction Methods / A. Mahiny and B. Turner // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2007. – Vol. 73, No 4. – P. 361–368.
- Meszaros J. Aerial surveying UAV based on open-source hardware and software / J. Meszaros // ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. – 2011. – XXXVIII-1/C22. – P. 67–73
- Petrie G. Commercial operation of lightweight UAVs for aerial imaging and mapping / G. Petrie // GEOInformatics. – 2013. – Vol. 16. – P. 28–39.
- Przybilla H.-J. Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. Bildmessung und Luftbildwesen / H.-J. Przybilla, W. Wester-Ebbinghaus // Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung. – 1979. – Vol. 47. – P. 137–142.
- Smith M. The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance / M. Smith, J. Edward, G. Milton // International Journal of Remote Sensing – 1999. – Vol.20, № 13. – P. 2653–2662.
- Vallet J. Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet UAV / J. Vallet, F. Panissod, C. Strecha, M. Tracol // ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. – 2011. – XXXVIII-1/C22. – P. 253–258.
- Vasuki Y. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach / Y. Vasuki, N. Holden, P. Kovesi, S. Micklethwaite // Computers & Geosciences. – 2014. – Vol. 69. – P. 22–32.
- Wester-Ebbinghaus W. Aerial Photography By Radio Controlled Model Helicopter / W. Wester-Ebbinghaus // The Photogrammetric Record. – 1980. – Vol. 10, No 55. – P. 85–92.
- Создавайте карты высочайшего качества <http://nova-bpla.ru/bpla/trimble-x100> – назва з екрана
- Новый стандарт в картографировании и геодезии <http://navgeotech.com/ua/product/trimble-ux5/> – Назва з екрана.

А. ВОВК, В. ГЛОТОВ, А. ГУНИНА, А. МАЛИЦКИЙ, К. ТРЕТЯК, А. ЦЕРКЛЕВИЧ

<sup>1</sup> Кафедра геодезии, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина,

<sup>2, 3\*</sup> Кафедра фотограмметрии и геоинформатики, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013, тел.: (098)-59-21-463, ел. почта: [gunina\\_alla@mail.ru](mailto:gunina_alla@mail.ru)

<sup>4, 5</sup> Кафедра высшей геодезии и астрономии, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина,

<sup>6</sup> Кафедра инженерной геодезии, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина,

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОРТОФОТОПЛАНОВ И ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА TRIMBLE UX-5

**Цель.** Целью данной работы является анализ и исследование возможностей беспилотного летательного аппарата (БПЛА) Trimble UX5 для создания ортофотопланов и цифровых моделей рельефа (ЦМР), а также выявления и устранения возможных недостатков в процессе аэросъемки и обработки аэроснимков.

**Методика.** Перед началом аэросъемочных работ проводилось рекогносцировка местности. Для кабрирования

и глассады выбирались площадки, которые имели соответствующие площадные параметры, указанные в технических характеристиках БПЛА. Для подготовительных проектно-расчетных работ использовалось программное обеспечение Trimble Access Aerial Imaging, которое устанавливалось в защищенный полевой контроллер Trimble Tablet, который применяется для управления UX5. Аэросъемка с БПЛА выполнялась цифровой камерой SONY NEX 5R. Поскольку на БПЛА UX5 не предусмотрено установление двухчастотного GPS-приемника для получения в полете значений центров проекций, то было сделано разреженную планово-высотную привязку (ПВП) опознавательных знаков. Для оперативного создания ортофотопланов применяли фотограмметрический модуль Trimble Business Center Photogrammetry Module, фирмы Trimble, с помощью которого можно создать облако точек, треугольную нерегулярную сетку (TIN-модель) и план с отображением горизонталей местности над которой проводилась аэросъемка. Для подтверждения возможности применения цифрового стереофотограмметрического метода рассчитано априорную оценку точности пространственных координат местности. Для проведения оценки точности определялись контрольные точки на трех экспериментальных участках. Координаты точек определялись при проведении ПВП GPS – приемниками Trimble R7 в режиме RTK. После создания ортофотопланов на них были измерены координаты вышеуказанных точек и вычислено средние квадратичные погрешности (СКП) относительно координат измеренных на местности. **Результаты.** По аэросъемке проведенной с высот 150 м, 200 м и 300 м по полученным изображениям были вычислены СКП положения контурных точек местности, которые подтверждают возможность применения самолетов модели Trimble UX5 для составления топографических планов в масштабах 1: 500, 1: 1000 и 1: 2000 с сечением горизонталей 0,5–1 м для этих масштабов. **Научная новизна.** На основании критического анализа конструкторских и эксплуатационных особенностей БПЛА Trimble UX5 разработана технологическая схема оценки пригодности БПЛА для аэросъёмочного процесса как по количественным так и по качественным параметрам. Это позволит в дальнейшем оценивать любые модели БПЛА относительно их применения в цифровом стереофотограмметрическом методе создания крупномасштабных ортофотопланов и топографических планов. **Практическая значимость.** Применение БПЛА Trimble UX5 позволяет снимать территории, получая необходимую точность для составления крупномасштабных топографических и кадастровых планов с применением цифрового стереофотограмметрического метода, что позволяет значительно удешевить процесс создания вышеуказанных планов.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат; аэрофотосъемки; цифровая камера; калибровки камер; ортофотоплан; цифровая модель рельефа.

A. VOVK, V. GLOTOV, A. GUNINA, A. MALITSKY, K. TRETYAK, A. TSERKLEVYCH

<sup>1</sup>Department of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013

<sup>2, 3\*</sup> Department of Photogrammetry and Geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel.: (098)-59-21-463, e-mail: gunina\_alla@mail.ru

<sup>4,5</sup>Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013

<sup>6</sup> Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013

#### ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE USE UAV TRIMBLE UX-5 FOR CREATION OF ORTHOPHOTOMAPS AND DIGITAL MODEL OF RELIEF

**Purpose.** The purpose of this paper is to analysis and research capabilities of unmanned aerial vehicle (UAV) Trimble UX5 to create orthophotomap and digital elevation models (DEM), as well as identifying and addressing possible shortcomings in the aerial survey and processing of aerial photographs. **Methods.** Before starting aerosurveying conducted reconnaissance of the area. For nose-up and glide-path elected corresponding surface area on the ground had areal options on listed specifications for the UAV, and satisfy the conditions for launching and landing UAV. For preliminary design and calculation works software was used Trimble Access Aerial Imaging, which install a protected field controller Trimble Tablet, which is used to control UX5. UAV aerial survey was carried out with a digital camera SONY NEX 5R. Since the UAV UX5 stipulated the establishment of two-frequency GPS-receiver for in-flight values of projection centers, it was done discharged horizontal and vertical tie-in markings. For operative creation of orthophotomap used photogrammetric module Trimble Business Center Photogrammetry Module, the company Trimble, with which you can create a point cloud, triangular irregular grids (TIN- model) and plan to display contour lines, terrain over was carried out aerial aerosurveying. To confirm the possibility of using digital stereophotogrammetric method calculated apriori estimate of the accuracy of the spatial coordinates of the

area. To assess the accuracy of the terrain defined checkpoints at three pilot sites. Coordinates of points determined during VFR GPS – receivers Trimble R7 mode RTK. After creating orthophotomap they measured the coordinates of the above points and calculated root-mean-square error measured relative to the coordinates on the ground. **Results.** For aerial survey conducted with a height of 150 m, 200 m and 300 m on the received images were calculated mean square error provisions terrain contour points, which confirm the possibility of using aircraft model Trimble UX5 to produce topographic maps at scales of 1: 500, 1: 1000 and 1: 2000 section 0.5-1 m contour for these scales and 1 m for the third scale. **The scientific novelty.** Based on a critical analysis of the design and operational features Trimble UX5 UAV developed technological scheme to evaluate the fitness of UAV aerosurveying both quantitative and qualitative parameters. This will enable further evaluate any models UAV regarding their use in digital stereofotogrammetry method of creating large-scale orthophotomap and topographical plans. **The practical significance** The use of UAVs Trimble UX5 allows you to take difficult territory, with the required precision to produce large-scale topographic and cadastral plans in the application of digital stereophotogrammetric method that can significantly reduce the cost of the process of creating the above plans.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV); aerial survey; digital camera; calibration chambers; orthophotomap; digital elevation models.

#### REFERENCES

- Galushko S. *Bespilotnye letatel'nye apparaty kardinal'no izmenjat oblik aviatsii budushhego* [Unmanned aerial vehicles radically change the face of aviation future]. *Aviapanorama [airview]*. 2005, no.4. Available at: [http://aviapanorama.narod.ru/journal/2005\\_4/bpla.html](http://aviapanorama.narod.ru/journal/2005_4/bpla.html)
- Lobanov A. N. *Fotogrammetrija: uchebnik dlja vuzov* [Photogrammetry: a textbook for high schools]. issue 2, Moscow, 1984, pp. 552.
- Altena B., Goedeme T. Assessing UAV platform types and optical sensor specifications. *ISPRS–Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014, vol. II-5, pp. 17–24.
- Baumker M., Przybilla H. Investigations on the accuracy of the navigation data of unmanned aerial vehicles using the example of the system Mikrokopter. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 2011, XXXVIII-1/C22, pp. 113–118.
- Bendig J., Bolten A., Bareth G. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal and multispectral-imaging. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* 2012. XXXIX-B1, P. 345–349.
- Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, Vol.92, XXXVIII-1/C22, pp. 79–97.
- Cosyn P., Miller R. Trimble ux5 aerial imaging solution, A new standard in accuracy, robustness and performance for photogrammetric aerial mapping. WHITE PAPER, Trimble Survey. USA, 2013, 1–7. Available at: [http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/trimble\\_ux5\\_whitepaper\\_english\\_0.pdf](http://uas.trimble.com/sites/default/files/downloads/trimble_ux5_whitepaper_english_0.pdf)
- Cox T., Somers I., Fratello S. Observation and Role of UAVs: A Capabilities Assessment. Technical Report. Civil UAV Team. –NASA, 2006. Version 1.1, P. 1–35.
- Cramer M. RPAS im Einsatz für die Datenerfassung beim LGL BW. In: Presentation slides from the UAV Dach meeting, held in Rostock, Germany, 2013, pp. 1–15.
- Dalamagkidis K., Valavanis K., Piegler L. On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system: issues, challenges, operational restrictions, certification, and recommendations. *Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*. Springer-Verlag, 2009, vol., pp. 36–197.
- Elkaim G., Lie F., Gebre-Egziabher D. Principles of guidance, navigation and control of UAVs. In: *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. 2013, Springer, ISBN 978-90-481-9708-8.
- Everaerts J. NEWPLATFORMS – Unconventional Platforms (Unmanned Aircraft Systems) for Remote Sensing, 2013, in EuroSDR official publication No 56, pp. 102, <http://bono.hostireland.com/~eurocdr/publications/56.pdf>
- Haala N., Cramer M., Rothermel M. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* 2013, XL-1/W2, pp. 183–188.
- Haala N., Cramer M., Weimer F., Trittler Performance test on UAV-based photogrammetric data collection. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* XXXVIII-1/C22. pp. 7–12.
- Haarbrink R., Eisenbeiss H. Accurate DSM production from unmanned helicopter systems, *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 2008, XXXVII, Part B1, pp. 1259–1254.
- Hadjimitsis D., Clayton C., Hope V. An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs *International Journal of Remote Sensing*, 2004, vol. 25, No 18, pp. 3651–3674.

- Harwin S., Lucieer A. Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery. *Remote Sens.*, 2012, vol. 4, pp. 1573–1599, <http://dx.doi.org/10.3390/rs4061573>.
- Kelcey J., Lucieer A. Sensor correction and radiometric calibration of a 6- band multispectral imaging sensor for UAV remote sensing. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 2012, XXXIX-B1, pp. 393–398.
- Lambers K., Eisenbeiss H., Sauerbier M., Kupferschmidt D., Gaisecker Th., Sotoodeh S., Hanusch Th. Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the late intermediate period site of Pinchango Alto. *Journal of Archaeological Science. Peru*, 2007. Vol. 34, No 10. P. 1702–1712.
- Mahiny A. S. and Turner B. J. A Comparison of Four Common Atmospheric Correction Methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2007, Vol. 73, No 4, pp. 361–368.
- Meszaros J. Aerial surveying UAV based on open-source hardware and software, *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 2011, XXXVIII-1/C22.
- Petrie G. Commercial operation of lightweight UAVs for aerial imaging and mapping. *GEOInformatics*. 2013, Vol. 16, pp. 28–39.
- Przybilla H.-J., Wester-Ebbinghaus W. Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. *Bildmessung und Luftbildwesen. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*. 1979, no. 47, pp. 137–142.
- Smith M., Edward J., Milton G. The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. *International Journal of Remote Sensing*. 1999, Vol. 20, no. 13, pp. 2653–2662.
- Vallet J. Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet UAV / J. Vallet, F. Panissod, C. Strecha, N. Tracol. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 2011, XXXVIII-1/C22, P. 253–258.
- Vasuki Y., Holden G., Kovesi P., Micklethwaite S. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. *Computers & Geosciences*. 2014, vol. 69, pp. 22–32.
- Wester-Ebbinghaus W. Aerial Photography By Radio Controlled Model Helicopter. *The Photogrammetric Record*, 1980, vol. 10, Issue 55, pp. 85–92.
- Sozdavayte karty vysochayshego kachestva [Create maps of the highest quality] <http://nova-bpla.ru/bpla/trimble-x100/>
- Novyy standart v kartografirovanii i geodezii [The new standard for mapping and geodesy] Available at: <http://navgeotech.com/ua/product/trimble-ux5/>

Надійшла 06.05.2015 р.