

**Могильний Сергій Георгійович**,  
доктор технічних наук, професор, професор кафедри  
управління земельними ресурсами, геодезії та  
кадастру, Державний біотехнологічний університет  
**Хайнус Дмитро Дмитрович**,  
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри  
управління земельними ресурсами, геодезії та  
кадастру, Державний біотехнологічний університет  
**Винограденко Сергій Олександрович**,  
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри  
управління земельними ресурсами, геодезії та  
кадастру, Державний біотехнологічний університет

**Mohylnyi Serhii**,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
State Biotechnological University,  
<https://orcid.org/0000-0003-0158-5672>  
**Khainus Dmytro**,  
PhD in Economics, Associate Professor,  
State Biotechnological University,  
<https://orcid.org/0000-0001-6097-1464>  
**Vynohradenko Serhii**,  
PhD in Economics, Associate Professor,  
State Biotechnological University,  
<https://orcid.org/0000-0002-8520-6504>

## АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ КАДАСТРОВИХ ЗЙОМОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА ANALYSIS OF THE ACCURACY OF CADASTRAL SURVEYS USING UAVS

Могильний С. Г., Хайнус Д. Д., Винограденко С. О.  
Аналіз точності кадастрових зйомок із засто-  
суванням БПЛА. *Український журнал прикладної  
економіки та техніки*. 2024. Том 9. № 1. С. 146 – 151.

Mohylnyi S., Khainus D., Vynohradenko S. Analysis  
of the accuracy of cadastral surveys using UAVs.  
*Ukrainian Journal of Applied Economics and  
Technology*. 2024. Volume 9. № 1, pp. 146 – 151.

Ця стаття присвячена аналізу точності кадастрових зйомок з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Вона досліджує ефективність і точність зйомок, проведених з використанням БПЛА у контексті кадастрових робіт. У статті розглянуто методи та технології, які використовують для забезпечення високої точності геопросторових даних у кадастровій сфері за допомогою безпілотних апаратів. Через використання новітніх технологій та аналіз результатів досліджень стаття висвітлює можливості та обмеження застосування БПЛА в кадастровому обстеженні та роботах з картографування земельних ділянок. Результати дослідження можуть бути корисними для фахівців у галузі геодезії, картографії та кадастру, а також для розробників та операторів безпілотних літальних апаратів.

**Ключові слова:** точність, кадастрові зйомки, безпілотні літальні апарати (БПЛА), геодезичні методи, геопросторові дані, аналіз.

This article is dedicated to analyzing the accuracy of cadastral surveys using uncrewed aerial vehicles (UAVs). It explores the efficiency and precision of surveys conducted with UAVs in the context of cadastral work. The article examines the methods and technologies used to ensure high accuracy of geospatial data in the cadastral field through UAVs. Utilizing cutting-edge technologies and analyzing research results, the article highlights the possibilities and limitations of UAV applications in cadastral surveys and land mapping tasks. The research findings can benefit geodesy, cartography, and cadastre professionals, as well as developers and operators of uncrewed aerial vehicles. This work investigates a network of phototriangulation conducted using uncrewed aerial vehicles (UAVs). Network parameters evaluated include the number of images, flight altitude, camera focal length, image size, pixel size, and coverage area. The images were processed using Agisoft Metashape Professional software. The main results of automatic image measurement are provided, including the number of tie points in the network, average ray intersection residuals, and random root mean square errors of ground points. The work shows that the provided accuracy characteristics need to provide more information for a reliable assessment of results. Despite optimistic results, the accuracy distribution may need to be improved for confident cadastral data quality. A modernized software complex for phototriangulation calculation, BlockMSG, was used for a more detailed assessment. It is noted that the calculation results correspond to all initial data of the Agisoft Metashape program but without additional information and analysis of possible errors. The paper also discusses the importance of measurement accuracy and its impact on creating a 3D cadastre. Data on the distribution of linear errors of points are presented, indicating the importance of choosing the number of images to obtain accurate coordinates. The primary focus is the need for a thorough analysis of results and possible error sources to ensure high-quality cadastral data.

**Keywords:** accuracy, cadastral surveys, unmanned aerial vehicles (UAVs), geodetic methods, geospatial data, analysis.

### Вступ

Розвиток інтегрованої земельно-інформаційної кадастрової системи України націлено на відповідність сучасним екологічним, економічним і правовим стандартам. З'являється актуальне завдання створення структури та юридичного підґрунтя для тривимірного кадастру.

Дані будь-якої кадастрової системи є геоданими, оскільки вони мають просторову локацію, що є необхідним у виконанні кадастрових обов'язків. Збір таких даних є ресурсомістким і має виконуватися вчасно для збереження їх актуальності. Використання сучасних дистанційних інформаційних технологій є обов'язковим і необхідним. Впровадження БПЛА у кадастровій діяльності набуло широкого застосування завдяки розвитку самого обладнання та автоматизації стереооброблення зображень об'єктів кадастру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження використання БПЛА для вирішення окремих завдань у цивільній сфері здійснювали, зокрема, Ю. Губар, Ю. Хавар, Я. Ваш, вивчаючи розвиток національних кадастрових систем [1]; Н. Ступень, М. Мельник визначили проблеми запровадження тривимірної

системи кадастрового обліку нерухомості в Україні [2]. У своїх роботах Ю. Губар та О. Штельмах визначали ефективність застосування БПЛА для підготовчого етапу робіт з оцінювання та аналізували вплив похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості [3, 4]. G. Chibunichev, V. M. Kurkov, A. V. Smirnov, A. V. Govorov, V. A. Mikhailin досліджували точність фототріангуляції з використанням різних методик лабораторного та польового калібрування [5].

Проте через широкий спектр техніко-аеродинамічних характеристик, а також різноманітність аерознімального та навігаційного обладнання різних класів і аеродинамічних схем аналіз можливостей їх використання для вирішення конкретних завдань ще потребує додаткових досліджень.

### **Формулювання цілей статті**

Метою та цілями дослідження є:

1. Оцінити ефективність використання БПЛА для проведення кадастрових зйомок, порівняно з традиційними методами.
2. Визначити рівень точності, досягнутий за допомогою БПЛА у виконанні кадастрових робіт, порівняно з іншими методами зйомки.
3. Проаналізувати методи та технології, які використовують для забезпечення високої точності геопросторових даних під час використання БПЛА.
4. Встановити переваги та недоліки використання БПЛА в кадастровій сфері з точки зору точності зйомок, вартості та часу виконання.
5. Запропонувати рекомендації щодо оптимального використання БПЛА для забезпечення точності кадастрових зйомок і покращення якості геопросторових даних.
6. Висвітлити можливості розвитку та вдосконалення методів і технологій з метою підвищення точності та ефективності кадастрових зйомок за допомогою БПЛА.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Аналізуючи точність кадастрового обстеження з використанням БПЛА, можна сказати таке:

1. Під час кадастрового обстеження з використанням БПЛА важливо провести повне оцінювання точності результатів фототріангуляції. Це означає, що кожна фаза процесу повинна бути детально перевірена і оцінена на точність.
2. Кількість опорних точок на місцевості та центрів фотографування не є гарантією високої точності результатів. Важливо враховувати, що важливі точки об'єктів кадастру треба вимірювати вручну стереоскопічно, без покладання на достовірність ортофотоплана.
3. Оцінювання точності за допомогою контрольних точок характеризується точністю ручних спостережень за знімками, коли виконавець визначає характерну точку на всіх знімках, оскільки контрольні точки, як правило, потрібно маркувати і обов'язково визначати алгоритмом на всіх знімках.
4. Використання БПЛА в кадастрових роботах є високоефективною технологією вирішення завдань землеустрою. Виробники ПЗ технології застосування БПЛА повинні надавати користувачу повну інформацію про точні характеристики результатів оброблення знімків.

На ринку існує достатня кількість відповідних технологічних рішень для застосування БПЛА, кожне з них базується на певному програмному забезпеченні. У пострадянських країнах широке застосування знайшли програмні продукти фірм Agisoft, PhotoMod та Autodesk [6-8].

До результатів кадастрового зйомки висувають вимоги гарантованого виконання точності та достовірності для кожного об'єкта нерухомості [4, 9]. Найвищі вимоги висувають до визначення координат точок меж земельних ділянок, об'єктів нерухомості та інших важливих геометричних характеристик.

При фотограмметричних методах використовують дві основні технології:

- 1) визначення на знімках точок повороту контура та стерео- чи моновимірювання координат на всіх зображеннях об'єкта зйомки;
- 2) за допомогою фотознімків будується ортофотоплан, на якому визначають межі та вимірюють координати.

Не аналізуючи джерела похибок, на основі публікацій [3, 10, 11] можна зробити висновок, що за точністю за певних умов обидві технології практично еквівалентні. Основною умовою є достатня точність ортофотоплана, тобто відсутність на ньому спотворень через похибки в координатах точок, використаних під час створення ортофотоплана.

Ортофотоплан створюють на основі координат точок, отриманих з фототріангуляції за аерофотознімків, автоматично вимірюючи за допомогою технології комп'ютерного зору. Точки на 3D-моделі місцевості інтерполюються, згущуються, а потім ортогонально проєктуються на площину плану. Точність відображення контурів місцевості залежить від роздрібності розширення знімків, методу інтерполяції та похибок координат з мережі фототріангуляції.

Виробники у рекламі своїх комплексів оброблення знімків з БПЛА наводять дуже високі показники точності, які дійсно можливо досягнути у деяких випадках. Практики кадастрової зйомки ставляться до рекомендацій обачно, оскільки бувають випадки не пояснених спотворень результатів. Після завершення обчислень проєктне програмне забезпечення надає звіт про характеристики результатів, зокрема щодо точності, а саме:

- залишкові величини неперетинання відповідних променів на точках 3D-моделі (поперечний паралакс);

- середньоквадратичні помилки центрів фотографування знімків за результатами зрівнювання;
- відхилення обчислених координат на опорних і контрольних точках моделі.

Зазвичай ці показники дуже оптимістичні і надають певні середньостатистичні характеристики результатів. Перший показник, безперечно, має бути дуже точним, оскільки він обчислюється за кількома тисячами точок на кожному знімку. У класичній фототріангуляції кількість вимірних точок на знімках розраховується сотнями точок.

Середня величина залишкового поперечного паралаксу, як правило, перебуває в межах одного пікселя. Для зменшення паралаксів використовують метод самокалібрування знімків [5, 12-14]. Як показує досвід, 3D-модель з променів знімків дуже пластична, і в процесі ітерацій обчислень часто може вписатися в припустимі значення паралаксу при помітних відхиленнях знімків від центральної проекції. Коли кількість точок, вимірних на знімках, дуже велика, легко приховати наявність грубих помилок. Залишковий паралакс є важливим показником точності фототріангуляції, але недостатнім для кадастрової зйомки.

Відхилення координат на контрольних і опорних точках є об'єктивними показниками точності мережі, але їх кількість невелика, і вони розташовані локально. Усе інше поле зйомки не має надійних характеристик точності. Варто зазначити, що контрольні точки розпізнаються спостерігачем вручну, що підвищує точність їх розпізнавання та вимірювання.

Інформативною характеристикою точності мережі фототріангуляції є середньоквадратичні помилки всіх точок моделі, розраховані за результатами урівнювання методом найменших квадратів. Однак у популярному програмному забезпеченні оброблення знімків БПЛА цей показник точності обмежено доступний для звичайного покупця та користувача технології. Це можливо з міркувань маркетингу.

Для висвітлення цього важливого питання використовують такий метод досліджень. Взятий конкретний приклад кадастрової зйомки з БПЛА і досліджено розподіл розрахункової точності координат по всьому полі мережі. Об'єктом кадастрової зйомки з застосуванням БПЛА була ділянка приватної забудови садового товариства.



**Рис. 1. Загальний вигляд об'єкта кадастрової зйомки**

наті центрів фотографування знімків, визначені супутниковими приймачами;

- середня величина неперетинання проєктуючих променів точок на площині знімка –  $\mu=0,57$  пкс. (1,4 мкм), що відповідає на місцевості – 0,038 м;
- середні помилки координат центрів фотографування не перевищують 0,002 м;
- випадкові середньоквадратичні помилки координат точок місцевості перебувають у межах від 0,38 м до 1,2 м;
- розподіл по мережі випадкових середньоквадратичних помилок координат точок місцевості наведено у вигляді діаграми (рис. 2).

Наведені характеристики точності результатів взяті з звіту, який формує програмне забезпечення. На перший погляд, усе виглядає досить оптимістично. Центральна частина мережі, де розташовані найважливіші кадастрові об'єкти, має задовільну точність. Однак, залежно від послідовності точок у каталозі, на діаграмі мітки точок накладаються і затемнюють дійсне розподіл точності. Якщо видалити з результатів точки з недостатньою точністю координат, можуть утворитися порожні плями, що негативно позначиться на якості та точності ортофотоплану.

Отже, наявні характеристики точності не надають даних для надійного оцінювання результатів і завищують якість зйомки, недоліки якої можуть проявитися при використанні кадастрових даних. Для детального оцінювання цього проєкту кадастрової зйомки з використанням БПЛА було використано модернізований програмний комплекс розрахунку фото-тріангуляції BlockMSG, у який були додані модулі автоматизованого вимірювання зображень та урівнювання блоків фототріангуляції з понад 1000 знімків. Фототріангуляція урівнюється строго методом найменших квадратів з самокалібруванням та оцінюванням точності результатів.

Під час оброблення знімків у програмному забезпеченні Agisoft Metashape створюється файл з координатами відповідних точок на знімках, який має розширення «.im». За даними файлу «.im» у

Аналізована мережа фототріангуляції має такі параметри:

- кількість знімків – 67;
- висота польоту – 297 м;
- фокусна відстань камери – 10,075 мм;
- розмір зображення – 6000x4000 пікселів;
- розмір пікселя – 2,41x2,41 мкм;
- площа покриття – 50,4 га.

Знімки були оброблені в програмному забезпеченні Agisoft Metashape Professional [6]. Основні показники результатів автоматичного вимірювання зображень:

- виявлено зв'язувальних точок у мережі фототріангуляції – 184239;
- опорні точки мережі – лише координати

програмному забезпеченні BlockMSG була побудована та урівняна мережа фототріангуляції. Оскільки вихідні дані урівнювання тотожні, то з точністю до помилок округлення в обчисленнях результати оцінювання точності є рівними.

Варто відзначити, що середня величина неперетинання променів на площині знімка, що дорівнює 0,57 пкс., однакова як при урівнюванні без самокалібрування, так і калібруванням, хоча величини поправок в координати на знімку можуть досягати 30 мкм (~12 пкс.). Це підтверджує думку про пластичність мережі зі знімків малоформатних фотокамер.

У роботі [15] було доведено, що  $M_{xyz}$  – коваріаційна матриця координат точки місцевості може бути представлена так:

$$M_{xyz} = m_{\text{вим.}} + m_{\text{орієн.}} + m_{\text{калібр.}} \quad (1)$$

де доданки – це коваріаційні матриці, що виражають вплив випадкових помилок різних складових мережі, а саме:

$m_{\text{вим.}}$  – через випадкові помилки координат цієї точки на знімках;  $m_{\text{орієн.}}$  – через помилки елементів орієнтування знімків, на яких зображено точку місцевості;  $m_{\text{калібр.}}$  – через помилки обчислених параметрів самокалібрування.

Перший доданок  $m_{\text{вим.}}$  у формулі (1) є коваріаційною матрицею координат прямої багаторазової фотограмметричного вимірювання. У цій мережі другий доданок призводить до незначного збільшення діагональних елементів у  $M_{xyz}$ , оскільки координати центрів фотографування прийняті опорними пунктами. Самокалі-



Рис. 2. Розподіл помилок координат точок на місцевості, м

брування не було включено до обчислень, щоб аналізувати нижні межі випадкових помилок координат.

Представимо матрицю  $M_{xyz}$  у вигляді:

$$M_{xyz} = \begin{vmatrix} m_x^2 & m_{xy} & m_{xz} \\ m_{xy} & m_y^2 & m_{yz} \\ m_{xz} & m_{yz} & m_z^2 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  – середньоквадратичні помилки координат, відповідно,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  точки на місцевості, а решта елементів матриці – коваріації відповідних помилок.

Для задач використання тривимірного моделювання для створення 3D-кадастру в Україні [16] важливою є точність планових координат контурів кадастрового плану, тому розглянемо розподіл лінійних помилок точок. Величина  $m_l$  – середня лінійна помилка положення точки, визначається з виразу:

$$m_l = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (3)$$

Значення  $m_l$  здебільшого визначається двома факторами: кількістю зображень точки та кутами фотограмметричного вимірювання. Ці фактори у виконаній зйомці не залежать від виконавця, вони автоматично обираються алгоритмом ПЗ. На рис. 3 видно, що майже половина виміряних точок мають лише два зображення, інші – три або більше. Чим більше зображень, тим можливо точніше координати точки.

Середня лінійна помилка координат у плані по всій мережі склала 0,303 м, а максимальна – 1,291 м. Згідно з нормативами кадастрового обстеження [9], точки повороту межі ділянки повинні визначатися з середньою помилкою 0,1 м. З розподілу помилок координат точок (рис. 4) видно, що значна кількість точок відповідає нормативам. Для більш повного опису точності необхідно розглянути розташування в просторі зйомки точок, які потенційно можуть мати недопустимі помилки (рис. 5).

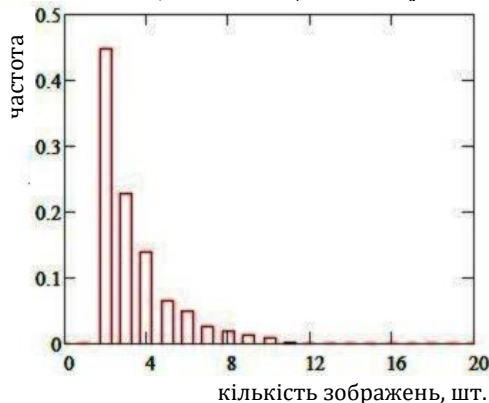


Рис. 3. Розподіл точок за кількістю зображень на знімках

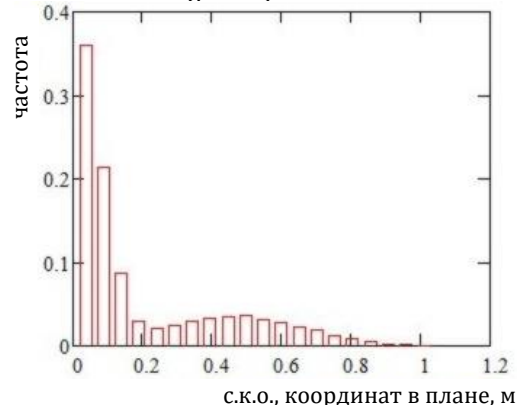
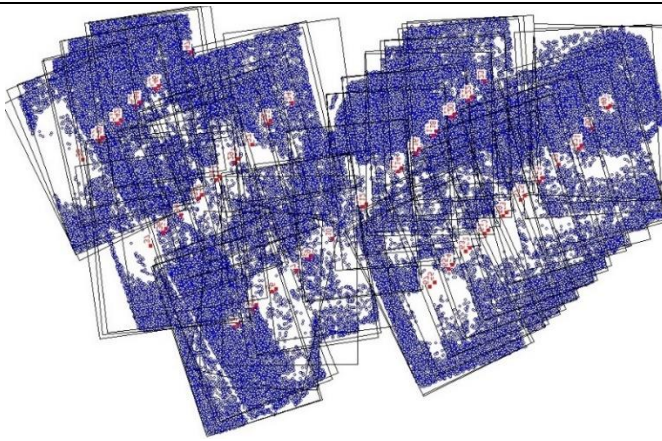
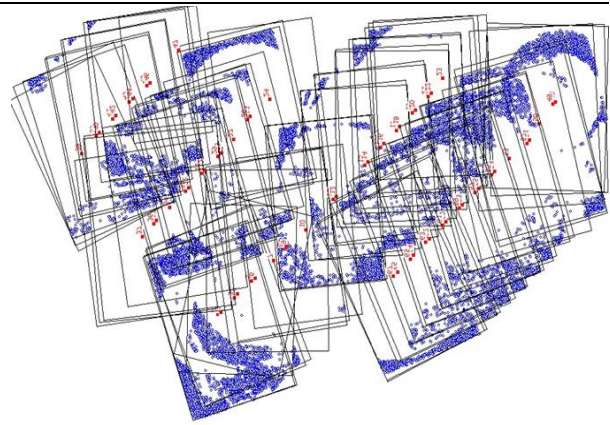


Рис. 4. Розподіл точок за величиною лінійної помилки в плані



**Рис. 5. Розташування точок на місцевості з лінійною помилкою координат понад 0,15 м**



**Рис. 6. Розташування точок на місцевості з лінійною помилкою координат понад 1,0 м**

### **Висновки та перспективи подальших розвідок**

У програмному забезпеченні BlockMSG можна отримати розташування точок з певною величиною лінійної помилки, наприклад, на рис. 6 показані точки з лінійною помилкою понад 1,0 м. У деяких випадках точність фототріангуляції БПЛА характеризується середньою величиною неперетинання проєктуючих променів точки на місцевості. У розглянутому прикладі отримано, що середня величина неперетинання у плані становить 0,033 м, а за висотою – 0,012 м. Приймати ці значення за надійне оцінювання точності буде помилкою. Оцінювання точності за контрольними точками здебільшого характеризує точність ручних спостережень за знімками, коли виконавець визначає характерну точку на всіх знімках, оскільки контрольні точки, як правило, маркувалися і обов'язково визначаються алгоритмом на всіх знімках.

Головним фактором низької точності автоматично визначених точок є малі кути фотограмметричної засічки, оскільки найлегше визначаються відповідні точки найближчих знімків, що призводить до низької бази засічки. Проведені дослідження точності кадастрового обстеження з використанням БПЛА за допомогою одного з кращих програмних забезпечень, дозволяють зробити такі висновки.

Під час кадастрового обстеження з використанням БПЛА необхідно виконувати повне оцінювання точності результатів фототріангуляції, наприклад, так, як це зроблено у цій роботі. Кількість опорних точок на місцевості та центрів фотографування не гарантує високу точність результатів, тому важливі точки об'єктів кадастру треба вимірювати вручну стереоскопічно, не покладаючись на достовірність ортофотоплана. Використання БПЛА в кадастрових роботах є високоефективною технологією вирішення завдань землеустрою. Виробники програмного забезпечення технології застосування БПЛА повинні надавати користувачеві повну інформацію про точні характеристики результатів оброблення знімків.

### **Література**

1. Губар Ю., Хавар Ю., Ваш Я. Шляхи розвитку національних кадастрових систем. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2021. Випуск I (41). С. 151-163.
2. Ступень Н., Мельник М. Проблеми запровадження тривимірної системи кадастрового обліку нерухомості в Україні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2023. Випуск II (46). С. 136-140. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/47fc9974-ab4f-4aee-b1fc-364638675da7/content>.
3. Губар Ю., Штельмах О. Ефективність застосування безпілотних літальних апаратів для підготовчого етапу оціночних робіт. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2023. Випуск I (45). С. 161-168.
4. Губар Ю. Аналіз впливу похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2019. Випуск I (37). С. 106-115.
5. Chibunichiev G., Kurkov V.M., Smirnov A.V., Govorov A.V., Mikhailin V.A. Investigation of phototriangulation accuracy with using of various techniques laboratory and field calibration. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B1, 2016. Prague, Czech Republic.
6. Agisoft LLC. 2010. Agisoft PhotoScan. URL: <http://www.agisoft.ru/products/photoscan/>.
7. Zubarev A.E., Nadezhdina I.E., Kozlova N.A., Brusnikin E.S., Karachevtseva I.P. Special software for planetary image processing and research. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B4. 2016 XXIII ISPRS Congress. P. 529-536.
8. Khainus D.D., Gurskienė V., Stupen R.M., Hoptsi D.O., Siedov A.O. The use of GIS technologies for geodetic monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. 1254(1). P. 012137.
9. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність». 1999. № 5-6. ст.46. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.
10. Глотов В., Гуніна А., Довбиш Б. Порівняльний аналіз застосування програмних пакетів Pix 4D та Agisoft Photo Scan для опрацювання цифрових зображень, отриманих з БПЛА. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва Західне геодезичне товариство Українського товариства геодезії та картографії*. 2018. №1 (35).
11. Küng O., Strecha C., Beyeler A., Zufferey J.-C. The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light uav imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2011. XXXVIII-1/C22. P. 125-130.
12. Mostafa M., Sobol S., Hutton J. UAV Multi-Sensor Payloads for High Precision Aerial Surveys. FIG Congress 2022. Volunteering for the future-Geospatial excellence for a better living Warsaw, Poland. 2022. P. 11485.

13. Suzuki T., Takahashi Y., Amano Y. Precise UAV Position and Attitude Estimation by Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping. Waseda University, Japan. URL: [http://taroz.net/paper/IONGNSS2016\\_UAV.pdf](http://taroz.net/paper/IONGNSS2016_UAV.pdf).
14. Ginia R., Pagliarib D., Passonib D., Pintob L., Sonaa G., Dossoc P. UAV photogrammetry: block triangulation comparisons. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2013. Vol. XL-1/W2. Rostock. Germany.
15. Mogilny S.G. Programmauswahl der zusätzlichen Parametr bei der Bündelblockausgleichung. *Bildmessung und Luftbildwesen*. 49(1981). P. 181-190. URL: <http://www.vingeo.com/index.html>.
16. Khainus D.D. Perspectives of Three-Dimensional Modelling of Geodetic Surveys in the Assessment of Real Estate. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022»*. 2022. Vol. 2022. P. 1-5.

## References

1. Hubar, Yu., Khavar, Yu., Vash, Ya. (2021). «Ways of development of national cadastral systems». *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Issue I (41). pp. 151-163. DOI: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-1-41-151-163>.
2. Stupen', N., Mel'nyk, M. (2023). «Problems of introducing a three-dimensional system of real estate cadastral accounting in Ukraine». *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Issue II (46). pp. 136-140. Available at: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/47fc9974-ab4f-4aee-b1fc-364638675da7/content>.
3. Hubar, Yu., Shtel'makh, O. (2023). «Effectiveness of using unmanned aerial vehicles for the preparatory stage of evaluation works». *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. Issue I (45). pp. 161-168. DOI: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-1-45-161-168>.
4. Hubar, Yu. (2019). «Analysis of the impact of errors in the position of boundary marks obtained with the help of unmanned aerial vehicles on the value of real estate». *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*. 2019. Issue I (37). pp. 106-115. DOI: <https://doi.org/10.33841/1819-1339-2019-1-37-106-115>.
5. Chibunichev, G., Kurkov, V.M., Smirnov, A.V., Govorov, A.V., Mikhailin, V.A. (2016). «Investigation of phototriangulation accuracy with using of various techniques laboratory and field calibration». *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B1. Prague. Czech Republic.
6. AgiSoftLLC. 2010. AgiSoftPhotoScan. Available at: <http://www.agisoft.ru/products/photoscan/>.
7. Zubarev, A.E., Nadezhkina, I.E., Kozlova, N.A., Brusnikin, E.S., Karachevtseva, I.P. (2016). «Special software for planetary image processing and research». *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XLI-B4. 2016 XXIII ISPRS Congress. pp. 529-536. Available at: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLI-B4/529/2016/isprs-archives-XLI-B4-529-2016.pdf>.
8. Khainus, D.D., Gurskienė, V., Stupen, R.M., Hoptsi, D.O., Siedov, A.O. (2023). «The use of GIS technologies for geodetic monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* This link is disabled. 1254(1). pp. 012137. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012137>.
9. Zakon Ukrainy «Pro topografo-heodezychnu i kartografichnu diial'nist'». (1999). [Law of Ukraine "On topographical, geodetic and cartographic activity"]. № 5-6. st.46. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.
10. Hlotov, V., Hunina, A., Dovbysh, B. (2018). «Comparative analysis of the use of Pix 4D and Agisoft Photo Scan software packages for processing digital images obtained from UAVs». *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva Zakhidne heodezychno tovarystvo Ukrain's'koho tovarystva heodezii ta kartografii*. №1 (35).
11. Küng, O., Strecha, C., Beyeler, A., Zufferey, J.-C. (2011). «The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light uav imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXVIII-1/C22. pp. 125-130. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-125-2011>.
12. Mostafa, M., Sobol, S., Hutton, J. (2022). UAV Multi-Sensor Payloads for High Precision Aerial Surveys. FIG Congress 2022. Volunteering for the future-Geospatial excellence for a better living Warsaw. Poland. pp. 11485.
13. Suzuki, T., Takahashi, Y., Amano, Y. Precise UAV Position and Attitude Estimation by Multiple GNSS Receivers for 3D Mapping. Waseda University, Japan. Available at: [http://taroz.net/paper/IONGNSS2016\\_UAV.pdf](http://taroz.net/paper/IONGNSS2016_UAV.pdf).
14. Ginia, R., Pagliarib, D., Passonib, D., Pintob, L., Sonaa, G., Dossoc, P. (2013). UAV photogrammetry: block triangulation comparisons. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XL-1/W2. Rostock. Germany.
15. Mogilny, S.G. Programmauswahl der zusätzlichen Parametr bei der Bündelblockausgleichung. *Bildmessung und Luftbildwesen*. 49(1981). pp. 181-190. Available at: <http://www.vingeo.com/index.html>.
16. Khainus, D.D. (2022). «Perspectives of Three-Dimensional Modelling of Geodetic Surveys in the Assessment of Real Estate». *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022»*. Vol. 2022. pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590047>.

**Стаття надійшла до редакції 27.12.2023 р.**