

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.5.268-285

УДК 528.4: 528.6

д.п.н., професор **Браславська О.В.**,
oksana.braslavska@udpu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0852-686X,
к.т.н., доцент **Дець Т.І.**, tdec@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3579-8326,
Рожі Т.А., tomas.rozhi.94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6794-9662,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

РОЛЬ ГЕОДЕЗІЇ У РОЗВИТКУ ДРОН-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ, КАРТОГРАФУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ

Розглядається актуальність і важливість інтеграції геодезичних методів у технології дистанційного зондування з дронів. Основна увага приділяється вивченню можливостей дронів як інноваційного інструменту, що відкриває нові перспективи для вимірювання, картографування та моніторингу територій. Аналізуються передові геодезичні технології та їх застосування у роботі з дронами, включаючи фотограмметрію, лазерне сканування та інші методи збору даних. Мета статті. Визначення і систематизація ролі геодезії у прогресі дрон-технологій, які використовуються для точних вимірювань, картографування та моніторингу територій. Завдання дослідження: проаналізувати сучасний стан геодезичних методів в контексті їх застосування в дрон-технологіях; дослідити можливості використання безпілотних літальних апаратів для геодезичних робіт. Розробити рекомендації щодо інтеграції дрон-технологій в геодезичну практику. Методи дослідження: аналітичний метод – систематичний аналіз наукових публікацій, статей та доповідей, що висвітлюють актуальні питання геодезії та дрон-технологій, їх розвитку та застосування; емпіричний метод – збір та обробка даних з використанням дронів, проведення вимірювань, моніторингу та картографування для оцінки точності та ефективності цих технологій; експериментальний метод – проведення польових випробувань дрон-технологій для збору первинних даних, їх аналізу та порівняння з традиційними геодезичними методами. Важливою частиною дослідження є оцінка ефективності використання дронів у порівнянні з традиційними методами, з особливим акцентом на підвищення точності, швидкості та зниження вартості геодезичних робіт. Також розглядається вплив правових аспектів на використання дронів у геодезії, в тому числі можливості її адаптації до сучасних геодезичних потреб.

Ключові слова: картографічний дрон; геодезичне завдання; картографування території; ортофотоплан; цифрова модель рельєфу; дешифрування даних.

Актуальність. Топографічні зображення та геодезичні картографії є незамінними в багатьох аспектах людської діяльності, включно з навігацією, архітектурою, воєнними та мінералогічними застосуваннями. Вони є основою для дизайну та конструкції різноманітних об'єктів, тому швидке та точне створення цих планів є критично важливим. Існують різні сучасні техніки для цього, включаючи лазерне сканування, глобальну супутникову навігаційну систему (ГСНС) і тахеометрію. Знімання з використанням безпілотних літальних апаратів (КД) або картографічних дронів (КД) стає все більш популярним завдяки таким перевагам як доступна ціна обладнання та ефективність польових робіт, що також включає створення тривимірних моделей і автоматизоване дешифрування зображень [5].

Ефективні технології та методики є ключовими для прогресу системи картографії та спостереження за територіями в Україні, які мають забезпечити швидкий, точний та надійний збір просторових даних у цифровому форматі. Використання дронів для створення деталізованих карт є одним з таких інструментів. Інноваційні практики у сфері кадастру та картографії вимагають новітніх технологій для розроблення картографічної бази та впровадження сучасних методів. Найбільш ефективним методом для створення картографічних основ є використання аерофотознімання великого масштабу за допомогою дронів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання аерофотознімання території застосовувалося ще в ХІХ ст. Однак, лише з інтенсивним розвитком обчислювальної техніки стало можливим ефективно застосування КД у геодезії та фотограмметрії. Дослідження теоретичних аспектів та практичного застосування створення цифрової моделі місцевості, зокрема з використанням космічних знімків, представлені у працях Андреев С., Жилін В. [2], Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. [4], Мохсан С.А.Х., Хан М.А., Нур Ф., Улла І., Альшаріф М.Х. [15] та інших дослідників. Спеціально, Гріффітс Д., Бернінгем Х. [13] розробили методологію, яка забезпечує підвищену точність зйомки за допомогою космічних апаратів. Автоматизований процес дешифрування, включаючи застосування методів нейромереж, був предметом дослідження у роботах: Кубрак Ю., Плечистий Д., Толстой І. [6]; Гематулін В., Камсінг П., Тортіка П., Сомджіт Т., Фісаннупавонг Т., Джараван Т. [14]. Точність та

ефективність сучасних методів дешифрування, зокрема алгоритму ОВІА, були проаналізовані в Толкунова Ю. [9], Бабінець А., Апелтауер Й. [11].

Мета. Визначення та аналіз ролі геодезії в прогресі дрон-технологій, які застосовуються для вимірювання, картографування та моніторингу територій.

Задачі дослідження:

- огляд сучасного стану дрон-технологій у сфері геодезичних робіт.
- аналіз методів вимірювання та картографування з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА).
- дослідження впливу геодезичних даних на точність та ефективність моніторингу територій з допомогою дронів.
- розробка рекомендацій по інтеграції геодезичних методів у процеси планування та проведення дрон-моніторингу.

Методи. Для виконання геодезичних робіт та моніторингу земель, а також для створення просторових моделей, що є частиною геодезичного чи геоінформаційного забезпечення, активно використовуються картографічні дрони. Вони виконують три ключові функції: збір геопросторових даних, оперативну підтримку при екстрених подіях, та систематичний геомоніторинг або геотехнічний моніторинг. Процес аерофотознімання об'єднує два типи завдань: керування польотами та збір інформації. Управлінські завдання базуються на принципах керування рухомими об'єктами та мультицільового керування групами дронів. Основні етапи знімання та просторового моделювання з використанням картографічних дронів ілюструються на рис. 1.

Процес аерофотознімання включає в себе використання трьох різних каналів: фотограмметричного, телевізійного та сенсорного, які доповнюють один одного в рамках єдиної технологічної системи. Дані, зібрані за допомогою зйомки, трансформуються в моделі. На початковому етапі виконують всебічну зйомку, яка дає інформацію про три типи просторових об'єктів. Далі, з використанням зібраних точкових даних, відбувається побудова моделей цих об'єктів, які складаються з множини взаємопов'язаних точок. У цьому процесі застосовуються методи семантичного моделювання або конструювання. Після цього, окремі моделі об'єднують в єдину інтегровану просторову модель. Для деяких специфічних просторових об'єктів було розроблено окремий алгоритм для створення просторових моделей.

Використання дронів відкрило нові перспективи для створення просторових моделей. Зокрема, дрони здатні не тільки масово збирати дані, але й виконувати збір інформації за індивідуальними технічними завданнями для конкретних моделей, об'єктів або їх частин. Особливість такого збору інформації полягає в можливості контролю з землі, де оператор має змогу вибирати не тільки кут зйомки, але й позиціонування сенсора відносно об'єкту.

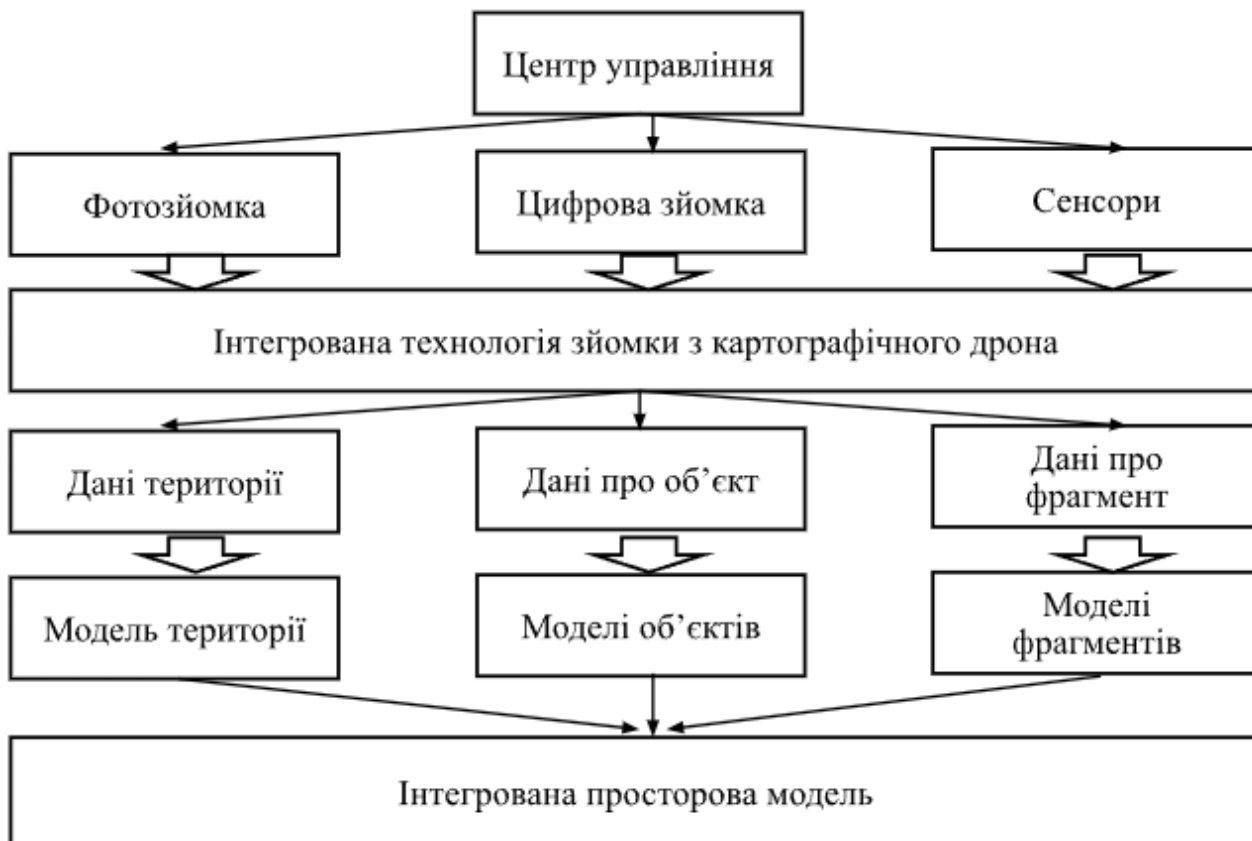


Рис. 1. Основні етапи зйомки та просторового моделювання з використанням КД

Результати. Картографічний дрон (КД) – це автономний літальний апарат, який створює підйомну силу, використовуючи аеродинамічні принципи через нерухоме або роторне крило (типу літака чи вертольота) і обладнаний двигуном з достатньою вантажністю і автономністю для виконання спеціалізованих завдань. В областях, таких як землевпорядкування, геодезія та картографія, використовуються дрони, що можуть бути оснащені спеціалізованими пристроями GPS/INS, а також високоякісними камерами з великою матрицею і центральним затвором на гідростабілізованій платформі, яка забезпечує стабільне положення камери незалежно від зовнішніх умов [10]. КД виконують польоти над територією в автоматичному чи напівавтоматичному режимах, а зібрані зображення обробляються за допомогою спеціалізованого ПЗ для створення цифрових моделей терену, рельєфу та ортофотопланів.

Перевагами використання дронів для аерофотознімання є швидкість роботи та можливість створення цифрових карт та планів регіонів з обмеженим доступом чи невеликих за розміром територій, де немає змісту або не економічно обґрунтовано проводити детальне дослідження за допомогою супутникових зображень або звичайного аерофотознімання. Крім того, дрони ефективні для періодичної зйомки великих та протяжних об'єктів як

трубопроводи, лінії електропередач, шляхи сполучення для моніторингу стану. Особливу цінність дрони представляють для зйомки територій, які важко зображати на аерокосмічних знімках через хмарність чи тіні, а також для роботи в зонах з надзвичайними ситуаціями, забезпечуючи безпеку людей.

Дрони дозволяють швидко отримувати фотографії об'єктів для подальшого використання. В сільському господарстві для фотографування полів застосовують два типи дронів. Перший тип – це моделі з фіксованим крилом (подібно до літака), які ефективні для зйомки подовжених полів, але не можуть зависати над однією точкою. Другий тип – це мультикоптери, які можуть здійснювати точкові зйомки, але мають обмежений радіус дії (рис. 2.). Дрони у сільському господарстві можуть виконувати різноманітні завдання, такі як відеозйомка, аерофотографія, лазерне сканування, а інколи і обприскування полів.

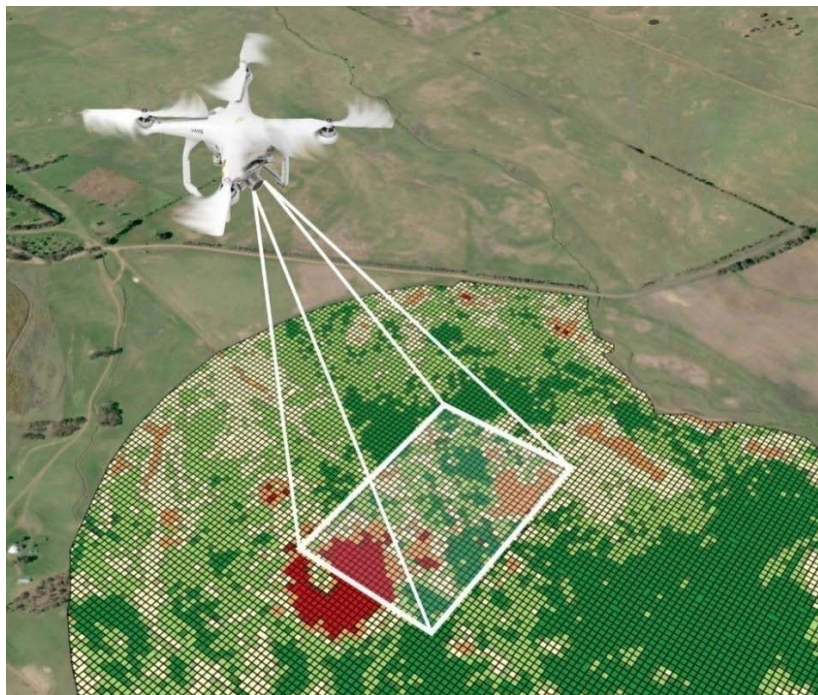


Рис. 2. Зйомка місцевості з використанням картографічного дрону [14]

Методики дистанційного зондування земної поверхні розвиваються швидкими темпами. Використання даних, отриманих з аерофотозйомок та космічних знімків, зростає у різних областях людської діяльності. Тепер створення геоприв'язаних ортофотопланів можливе без високих витрат на традиційну аерофотозйомку, таку як супутникова або за допомогою літаків, завдяки прогресу в індустрії ультрамалих безпілотних літальних апаратів. Дрон може здійснити зйомку від декількох десятків до тисяч гектарів за один виліт, забезпечуючи велику кількість знімків для створення геоприв'язаних ортофотопланів [13].

Для кадастрових та інших спеціалізованих робіт необхідні ортофотоплани території з високою просторовою роздільністю, починаючи від 5 см на піксель, та високою точністю планових координат, яка повинна бути 10 см або кращою. Для досягнення такої точної географічної прив'язки кінцевих моделей застосовують два методи. Один з них полягає в розміщенні контрольних точок планово-висотного обґрунтування (ПВО) перед початком льотних робіт. Ці точки являють собою невеликі контрастні об'єкти з точно вимірними координатами за допомогою інструментального вимірювання. Контрольні точки ПВО мають бути чітко розпізнаваними на зображеннях, отриманих з допомогою дронів [6, с. 44].

Перед початком аерофотознімання необхідно визначити ряд параметрів: висоту польоту, фокусну відстань фотоапаратури, оптимальний сезон і час для польотів, а також спланувати маршрути прольоту. Правильне планування маршруту важливе для забезпечення перекриття знімків: частини території повинні фіксуватися на двох суміжних фотографіях, що дозволяє їх накладення один на одного. Стандартне поздовжнє перекриття для таких знімків становить 60%, хоча в деяких випадках можуть бути змінені вимоги. Для зйомки великих територій використовують серію паралельних маршрутів з поперечним перекриттям, яке зазвичай є 30%. Схему розташування маршрутів і перекриття можна побачити на рис. 3.

Під час кожного циклу фотографування важливо фіксувати просторове положення кожного знімка відносно обраної системи координат. Це визначається за допомогою так званих елементів зовнішнього орієнтування, які включають три лінійні координати центру проекції знімка (x_s , y_s , z_s) та три кути, що описують його орієнтацію відносно осей координат. Такий підхід необхідний через переміщення основи під час здійснення аерофотознімання.

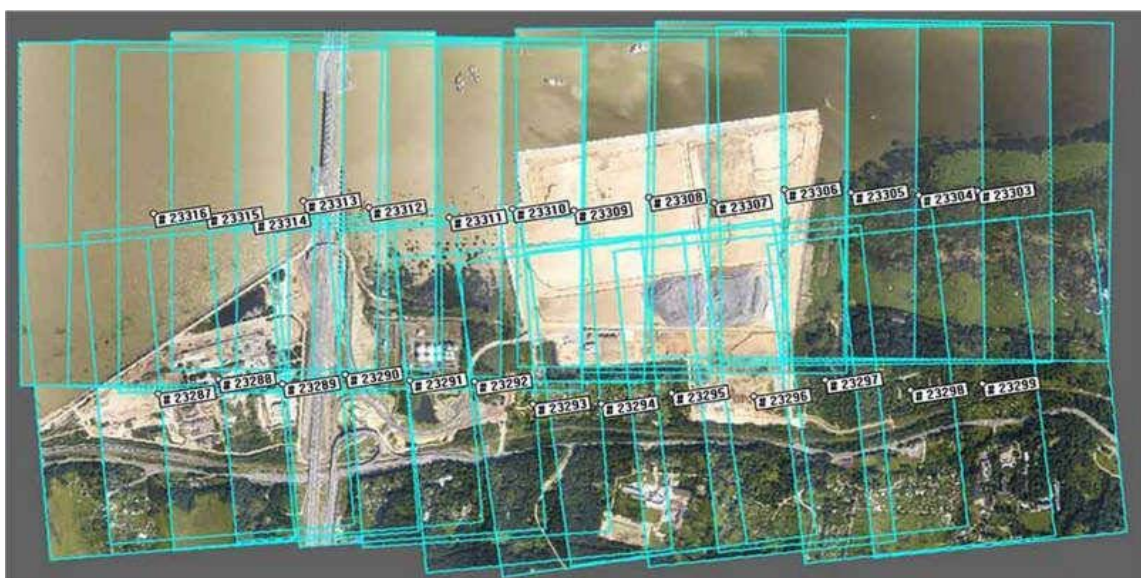


Рис. 3. Цифрове аерофотознімання з використанням картографічного дрона [16]

Географічне прив'язування растрових зображень є частиною лабораторної обробки, яка виконується з використанням координат контрольних точок. У другому підході для досягнення високої точності геопросторових даних застосовуються безпілотні апарати, оснащені геодезичними приймачами, а також використовується наземна базова станція, розташована в пункті з точно визначеними координатами, що проводить моніторинг супутників і збір даних з частотою від 1 до 10 Гц. Під час лабораторної обробки, дані з дрона та базової станції обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє точно визначити координати місця знімання, враховуючи кутові відхилення та інші параметри польоту дрона у момент виконання знімка [2].

Серед найбільш використовуваних моделей дронів для геодезичних завдань виділяються Yuneec H520 RTK та DJI Phantom 4 RTK, де RTK (Real Time Kinematic) належать до високоточної системи супутникової навігації, що застосовується для збільшення точності локаційних даних дрона. Промисловий дрон Yuneec H520 RTK не обмежений зонами заборонених польотів і може точно визначати своє місцеположення за допомогою GPS, Galileo, BeiDou. Також ця модель може продовжувати політ у разі виходу з ладу одного з двигунів. Зібрані дані зберігаються на SD-карті для подальшої обробки. У DJI Phantom 4 RTK інтегровано новий RTK-модуль, що дозволяє в реальному часі отримувати дуже точні дані про позиціонування з точністю до сантиметра та мінімальною помилкою у метаданих зображення. Під RTK-приймачем розташований модуль для підвищення стабільності польотів у регіонах зі слабким сигналом, як-от у міських зонах. Взаємодія цих двох модулів у Phantom 4 RTK покращує безпеку польоту та точність даних для потреб геодезії та картографії [11].

Перед початком геодезичного знімання формуються завдання на проведення аерофотознімання. Замовники зазвичай надають інформацію про приблизні границі полів, найчастіше на основі агрохімічних досліджень, але також можуть використовуватися й інші картографічні матеріали. Відповідно до цих попередньо визначених кордонів полягає вибір методу знімання. Розглядаючи використання квадрокоптера DJI Phantom 4 RTK для аерофотознімання полів, процес включає чотири головні етапи: підготовку техніки до польоту, розробку плану польоту, сам політ та аналіз зібраних даних.

Перед розробкою плану польоту необхідно здійснити ряд перевірок: реєстрацію дрона, відсутність обмежень на польоти в районі, де плануються роботи, справність обладнання та погодні умови. За добу до запланованого

використання дрона треба визначити графік робіт та пересвідчитись, що виконання завдання відповідає певним критеріям [3, с. 51-52]:

Сприятливі метеорологічні умови. Польоти для аерофотознімання неможливі навіть за умов легких опадів, оскільки робота роторів квадрокоптера утворює водяну завісу біля об'єктива камери, що робить неможливим отримання високоякісних фотографій. Максимально допустима швидкість вітру для польотів становить 10 м/с або 36 км/год.

Наявність достатнього освітлення. Для цього слід враховувати час сходу і заходу сонця. При яскравому світлі для покращення контрастності знімків можна застосовувати поляризаційні фільтри, які підвищують контрастність і зменшують блиски, та ультрафіолетові фільтри, що захищають камеру від механічних ушкоджень та знижують вплив ультрафіолетового випромінювання на фотографії.

Достатня кількість супутників у полі зору. Мінімальна кількість супутників, необхідних для здійснення аерофотознімання, становить 9.

Планування маршруту. Якісне знімання вимагає попереднього визначення маршруту над територією знімання. Часто рекомендують користуватися програмним забезпеченням для планування маршрутів, що дозволяє автоматизувати цей процес. Ручний режим польоту зазвичай вибирають досвідчені пілоти, оскільки він може сприяти більш ефективному виконанню завдань [15].

Для організації польотів і проведення аерофотознімання можна застосувати додаток «GS RTK», який є корисним для картографічних робіт та проведення інспекцій. У випадку несподіваних погодних умов, як-от сильний вітер або дощ, пілот отримає сповіщення через програму. «GS RTK» надає можливість керувати Phantom 4 RTK у двох режимах: «Фотограмметрія» та «Політ за точками». За допомогою цього додатку легко спланувати маршрут, налаштувати перекриття знімків, параметри камери та швидкість під час знімання. Регулювання налаштувань камери дрона є важливою задачею, оскільки потрібно врахувати чимало чинників, які впливають на якість фотоматеріалу x4і.

Наступний крок – це польоти, які включають зльоти, сам політ та посадку дрона. Для зльоту слід обрати спеціально підготовлену площадку, якою може бути асфальтована ділянка або спеціальний кейс, що використовується для транспортування квадрокоптера. Зльоти з поверхні автомобіля категорично не рекомендуються, оскільки це може призвести до збоїв у роботі магнітометра дрона. Після зльоту пілота важливо забезпечити стабільний вихід апарату на запланований маршрут.

Після завершення аерофотознімання настає етап оброблення отриманих зображень. Необхідно завантажити фотографії та визначити координатну систему. У квадрокоптері DJI Phantom 4 фото зберігаються у відокремлених папках для кожного польоту, а не для кожної місії, тому спершу слід розсортувати папки згідно з місіями для зручності подальшої роботи. При використанні аналогових камер необхідно вручну задати початкові параметри калібрування камери та встановити координати для кожного знімка. Створення топографічних карт за допомогою дронів вважається одним з найбільш ефективних та точних методів збору геоданих на сьогодні. Робота з дронами починається з планування польоту за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що зазвичай включає вибір території для знімання та налаштування параметрів польоту [1]. Після запуску, дрон виконує політ автономно, роблячи знімки та використовуючи GPS для точного визначення свого розташування (рис. 4.).



Рис. 4. Ортофотоплан знятий із КД [16]

Після завершення знімання дані підлягають обробці в спеціальному програмному забезпеченні, яке генерує карту висот та інші важливі відомості для складання топографічного плану. Процес може включати в себе створення тривимірної моделі території, яку можна використовувати для проектування будинків, доріг та інших інфраструктурних споруд (рис. 5.).

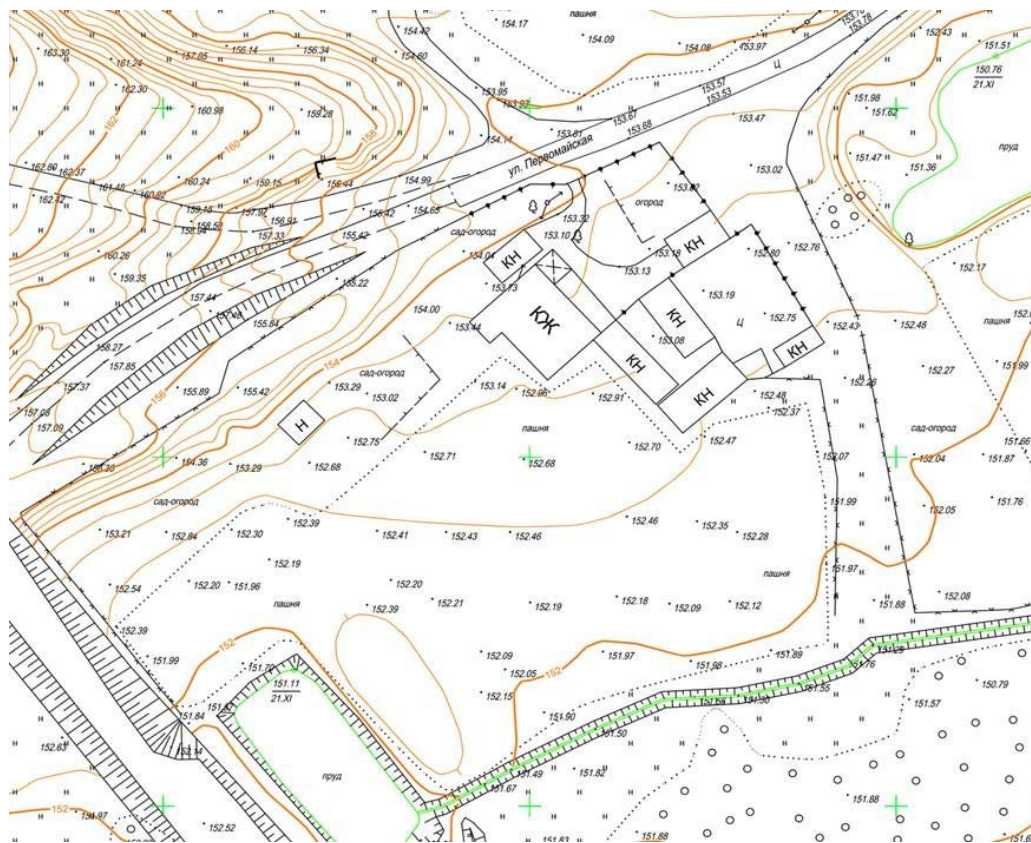


Рис. 5. Топографічний план, зроблений за допомогою КД (оброблено авторами)

Створення ЦМР та визначення висотних характеристик за допомогою дрона. Цифрова модель рельєфу (ЦМР) та гіпсометричні дані (вимір висот на земній поверхні) можна отримати з використанням безпілотних апаратів (рис. 6.). Для цього застосовуються спеціальні датчики та фотоапаратура, які фіксують поверхню землі з заданої висоти та відтворюють тривимірні моделі місцевості.

Для формування Цифрової Моделі Рельєфу (ЦМР) та виміру висотних характеристик дрон здійснює серію польотів над цільовою територією. Зібрані в процесі польотів дані слугують для реконструкції точної тривимірної моделі терену, яка може бути застосована у широкому спектрі завдань. Отримані з використанням дрона ЦМР та гіпсометричні відомості користуються попитом у багатьох сферах, включно з геодезією, картографією, будівництвом, містобудуванням, аграрним сектором та іншими галузями. Ці дані можуть використовуватися для складання карт, планування шляхів, визначення розміщення споруд, проектування масштабних розробок тощо [7].

Для виконання робіт зі створення топографічної карти масштабу 1 до 1000 обрали паркову зону. На вибраній території розташовано лише кілька наземних об'єктів, переважно відкриті простори, окремі дерева та їх групи, а також сільськогосподарські шляхи. Загальна площа парку складає 50 гектарів (рис. 7.).

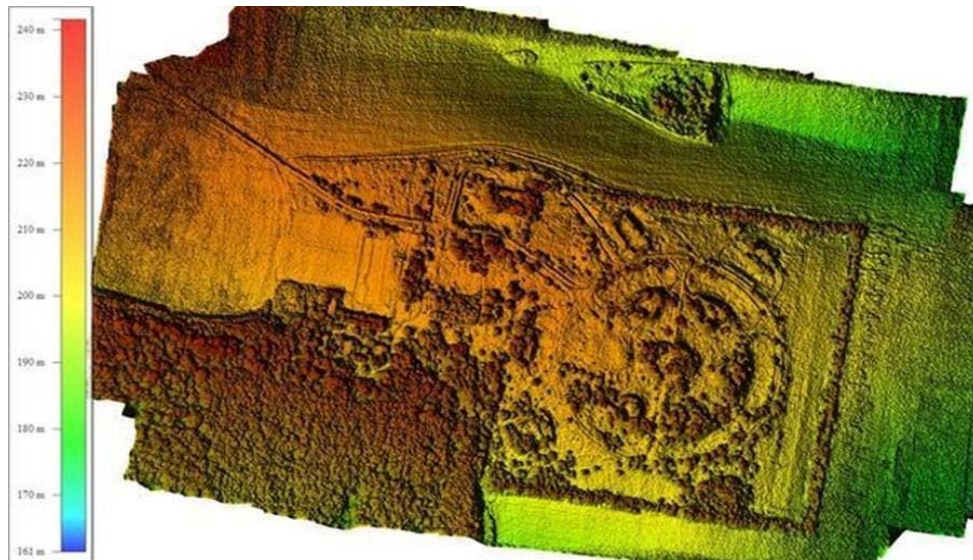


Рис. 6. ЦМР (цифрова модель рельєфу) знята за допомогою КД (оброблено авторами)



Рис. 7. Паркова зона для створення топографічної карти

В результаті при середній висоті польоту 164,6 м та знімальної площі 0,4 км² отримано 357 зображень зі значенням GSD = 3 см/піксель (рис. 8.).

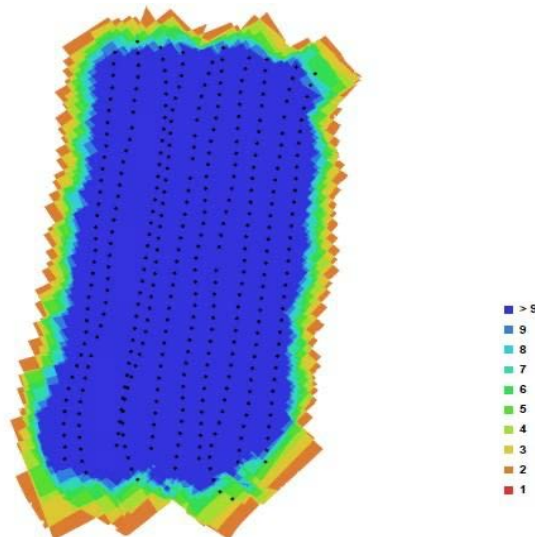


Рис. 8. Схема розташування точок фіксації (камер) біля знімання (виконано авторами)

Градація кольорів на зображеннях відображає рівень їх перекриття. Першим кроком у процесі офісної обробки стало створення густої хмари точок за допомогою технології багатовидової реконструкції, яка базується на зібраних фотознімках, координатах місць фотографування та контрольних точках. Цей процес також відомий як створення структури з руху, що передбачає отримання тривимірної структури через аналіз руху однієї або декількох камер [12]. Потім, використовуючи програмне забезпечення «Agisoft Photoscan», було автоматизовано створено карту висот для даної місцевості (рис. 9).

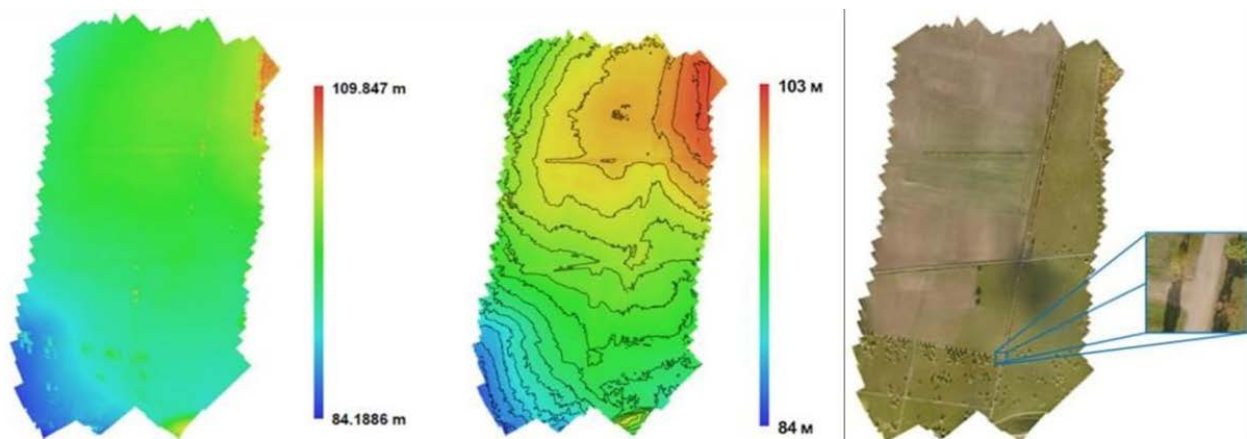


Рис. 9. Карта висот місцевості (а) та карта висот рельєфу з горизонталями (б) у вигляді градієнтної заливки, колір якої відображає висотне положення точки місцевості та ортофотоплан території (в) (виконано авторами)

Постановка контурів висот виконувалася на підставі карти висот території, яка була сформована програмою за допомогою визначення точок класу «земля» у густій масі точок (рис. 9б). Також у даному програмному забезпеченні було автоматизовано створено ортофотоплан (рис. 9в). При його формуванні застосовувалися початкові знімки та відновлена модель, що забезпечило отримання зображення з високою роздільною здатністю [6]. Такі карти висот та рельєфу, а також ортофотоплан, є достатніми для кабінетного дешифрування території. Оскільки аерофотознімання з дрона ведеться з невеликої висоти, а територія забудована не густо і не покрита щільною високою рослинністю, і при цьому роздільна здатність знімків велика, потреба в польовому дешифруванні відсутня. Дешифрування об'єктів території здійснено у два етапи: класифікація об'єктів та векторизація створеної тематичної карти.

З метою вибору методики, яка дозволяє точно класифікувати об'єкти, була обрана частина ортофотоплану (рис. 10.), який представлений на рисунку 8. На цій частині відображені типові для місцевості об'єкти: луки, дві смуги дерев (інформація походить з рис. 9.), а також дві польові дороги та місце їх перетину. Аерофотознімання цієї ділянки проведено в такий час, коли тіні

мають значний розмір, що вносить додаткові труднощі в процес класифікації та векторизації об'єктів.



Рис. 10. Фрагмент ортофотоплану, що використовується для автоматизованого створення топографічного плану (виконано авторами)

Для спрощення обробки даних, отриманих під час аерофотознімання, використовуються технології супутникового позиціонування, такі як GPS (Global Positioning System), які забезпечують визначення відстаней, часу та місцезнаходження в рамках глобальної системи координат WGS 84. Використання дронів для створення топографічних карт і моніторингу територій має ряд переваг порівняно з традиційними методами збору геоданих. По-перше, такий метод є значно швидшим у порівнянні з земними вимірюваннями. По-друге, він дозволяє збирати дані з вищою точністю, що може бути вирішальним для інженерних та будівельних проектів [9]. Наостанок, цей метод ефективний для роботи на великій відстані та на місцевостях зі складним рельєфом, що робить його ідеальним для спостереження за змінами в ландшафті та виконання будівельних робіт у важкодоступних місцях.

Отже, застосування безпілотних літальних апаратів у сфері геодезії представляє собою перспективний напрямок, що має потенціал суттєво вдосконалити процедури геодезичних вимірювань та аерофотознімання. Ця технологія вже широко використовується у багатьох галузях та продовжує активно розвиватися.

Висновки та перспективи. Визначено, що просторове та геоінформаційне моделювання відкривають широкі можливості для вирішення завдань, недоступних для інших методів моделювання. Ці підходи є фундаментальними для здобуття просторових знань та невід'ємними у сфері

управління територіями, їх планування та прогнозування. Використання дронів для збору даних є ефективним інструментом просторового моделювання, який надає більше можливостей порівняно зі зніманням з літаків. Залежно від завдань і висоти польоту вибираються різні типи дронів. Економічна ефективність грає ключову роль при виборі знімання за допомогою дронів, яка є комплексною технологією з багатоканальним збором даних і можливістю використання різноманітних режимів, включно з інтерактивними та онлайн.

Здійснений аналіз свідчить, що використання технологій аерофотознімання за допомогою дронів ефективно вирішує завдання у сфері кадастру, моніторингу і може сприяти прогресу регіонів. Такий підхід є оптимальним для застосування на об'єктах кадастрових кварталів, районів, населених пунктів, що мають площу близько та більше як 2000 км². Ці технології включають здійснення космічного і аерофотознімання та інші методи отримання просторової інформації, що забезпечують необхідні дані для створення ортофотопланів на основі дешифрування. Результати такого знімання використовуються для ширшого охоплення територій при проведенні всеосяжних кадастрових робіт, які включають роботу як пілотованих, так і безпілотних літальних апаратів.

Список використаних джерел

1. Актуальні напрямки розвитку картографії в Україні / За редакцією Руденка Л. Г. Київ: Ін-т географії НАН України, 2019. 90 с.
2. Андреев С., Жилін В. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2019. №1. С. 3–16. 10.26906/SUNZ.2019.1.003.
3. Афтаназів І.С., Стоцько Р.З., Шевчук А.О., Строган О.І., Бойко О.О. Визначення координат та параметрів руху безпілотних літальних апаратів. Системи озброєння і військова техніка. 2022. № 3 (71). С. 49–59. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.07>.
4. Вертегел С., Вишняков В., Гуреля В., Сластін С., Піскун О., Харченко С., Мороз В. Розробка методики створення і оновлення картографічної основи з використанням космічних знімків від супутників «SUPER VIEW-1». Екологічна безпека та природокористування. 2022. №41(1). С. 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>
5. Данкевич В.Є., Данкевич Є.М. Моніторинг сільськогосподарських угідь із застосуванням систем дистанційного зондування земель. Економіка АПК. 2019. №8. С. 27.

6. Кубрак Ю., Плечистий Д., Толстой І. формування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 2/2022 (133). С. 41–47. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.5>
7. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3
8. Македон В.В., Чабаненко А.В. Факторні складові цифровізації глобальної економіки та макроекономічних систем країн світу. Ефективна економіка. 2022. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875>. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11
9. Толкунова Ю. Розробка системи подолання перешкод для безпілотного літального апарату. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2022. №2(68). С. 32–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.032>
10. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.
11. Babinec A., Apeltauer J. On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs. International Journal of Transportation Science and Technology. 2016. No. 3(5). P. 152–166. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2017.02.002>.
12. Du X., Tang Y., Gou Y., Huang Z. Data Processing and Encryption in UAV Radar. 2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). 2021. 1445-1450. DOI: 10.1109/IMCEC51613.2021.9482373
13. Griffiths D., Burningham H. Comparison of pre-and self-calibrated camera calibration models for UAS-derived nadir imagery for a SfM application. Progress in Physical Geography. 2019. №43(2). pp. 215–235. <https://doi.org/10.1177/0309133318788964>
14. Hematulin W., Kamsing P., Torteeka P., Somjit T., Phisannupawong T., Jarawan T. Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. Drones. 2023. № 7. P. 142.
15. Mohsan S.A.H., Khan M.A., Noor F., Ullah I., Alsharif M.H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. Drones. 2022. No.6(6). pp. 147. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>
16. Your Guide to Computer Vision in Drone Technology. URL: <https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology>

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor **Braslavska Oksana**,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Dets Tetiana**,
Trainee lecturer **Rozhi Tomas**,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

THE ROLE OF GEODESY IN THE DEVELOPMENT OF DRONE TECHNOLOGIES FOR MEASURING, MAPPING AND MONITORING TERRITORIES

This study examines the relevance and importance of integrating geodetic methods into remote sensing technology from drones. The main focus is on exploring the possibilities of drones as an innovative tool that opens up new perspectives for measuring, mapping and monitoring territories. Advanced geodetic technologies and their applications in drone work are analyzed, including photogrammetry, laser scanning, and other data collection methods. The purpose of the article. Defining and systematizing the role of geodesy in the advancement of drone technologies used for precise measurements, mapping and monitoring of territories. Research task: to analyze the current state of geodetic methods in the context of their application in drone technologies; explore the possibilities of using unmanned aerial vehicles for geodetic work. Develop recommendations for the integration of drone technologies into geodetic practice. Research methods: analytical method - a systematic analysis of scientific publications, articles and reports that highlight current issues of geodesy and drone technologies, their development and application; empirical method - data collection and processing using drones, measurement, monitoring and mapping to assess the accuracy and effectiveness of these technologies; experimental method - conducting field tests of drone technologies to collect primary data, analyze them and compare them with traditional geodetic methods. An important part of the research is the evaluation of the effectiveness of the use of drones in comparison with traditional methods, with a special emphasis on increasing the accuracy, speed and reducing the cost of surveying work. The influence of legal aspects on the use of drones in geodesy is also considered, including the possibility of its adaptation to modern geodetic needs.

Keywords: mapping drone; geodetic task; territory mapping; orthophoto plan; digital terrain model; data decoding.

REFERENCES

1. Rudenko, L.G. (2019) Aktual'ni napryamky rozvytku kartohrafiyi v Ukraini [Current trends in the development of cartography in Ukraine] Edited by

Kyiv: Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine. {in Ukrainian}.

2. Andreev, S. & Zhilin, V. (2019) Zastosuvannya danykh aerofotozyomky z bezpilotnykh lital'nykh aparativ dlya pobudovy 3D-modeley mistsevosti. Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats, 1, 3-16. 10.26906/SUNZ.2019.1.003. {in Ukrainian}.

3. Aftanaziv, I.S., Stots'ko, R.Z., Shevchuk, A.O., Strohan, O.I., Boyko, O.O. (2022) Vyznachennya koordynat ta parametriv rukhu bezpilotnykh lital'nykh aparativ. Systemy ozbroynennya i viys'kova tekhnika, 3(71), 49–59. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.07>. {in Ukrainian}.

4. Vertegel, S., Vyshnyakov, V., Gurelia, V., Slastin, S., Piskun, O., Kharchenko, S., & Moroz, V. (2022) Development of the methodology for creating and updating the cartographic base using space images from the "SUPER VIEW-1" satellites. Environmental Security and Nature Management, 41(1), 89–101. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.89-101>. {in English}.

5. Dankevich, V.E., Dankevich, E.M. (2019) Monitoring of agricultural lands using remote land sensing systems. Economy of agro-industrial complex, No. 8, 27. {in English}.

6. Kubrak, Y.U., Plechystyy D., Tolstoy, I. (2022) Formuvannya kompleksnoyi systemy stezhennya suchasnykh BPLA na bazi shtuchoho intelektu. Visnyk KrNU imeni Mykhayla Ostrohrads'koho, Vypusk 2(133), 41-47. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2.5>. {in Ukrainian}.

7. Makedon, V.V., Bailova O.O. (2023). Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences", Issue 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. {in Ukrainian}.

8. Makedon V., Chabanenko A. (2022) Faktorni skladovi tsyfrovizatsiyi hlobal'noyi ekonomiky ta makroekonomichnykh system krayin svitu [Factor components of digitalization of the global economy and macroeconomic systems of countries]. Efektyvna ekonomika, [Online], vol. 1, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875> DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11. {in Ukrainian}.

9. Tolkunova, Y. (2022) Rozrobka systemy podolannya pereshkod dlya bezpilotnoho lital'noho aparatu. Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats', 2(68), 32–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.032>. {in Ukrainian}.

10. Yamelynets, T. (2022) Informational soil science: monograph. Lviv: LNU named after Ivan Franko. {in English}.

11. Babinec, A., Apeltauer, J. (2016) On accuracy of position estimation from aerial imagery captured by low-flying UAVs. *International Journal of Transportation Science and Technology*, No. 3(5), 152–166. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.02.002>. {in English}.
12. Du, X., Tang, Y., Gou, Y., Huang, Z. (2021) Data Processing and Encryption in UAV Radar. 2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), 1445–1450. DOI: 10.1109/IMCEC51613.2021.9482373. {in English}.
13. Griffiths, D., & Burningham, H. (2019) Comparison of pre-and self-calibrated camera calibration models for UAS-derived nadir imagery for a SfM application. *Progress in Physical Geography*, 43(2), 215–235. <https://doi.org/10.1177/0309133318788964>. {in English}.
14. Hematulin, W., Kamsing, P., Torteeka, P., Somjit, T., Phisannupawong, T., Jarawan, T. (2023) Trajectory planning for multiple UAVs and hierarchical collision avoidance based on nonlinear Kalman filters. *Drones*, № 7, 142. {in English}.
15. Mohsan, S.A.H., Khan, M.A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M.H. (2022) Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*, 6(6), 147. <https://doi.org/10.3390/drones6060147>. {in English}.
16. Your Guide to Computer Vision in Drone Technology. URL: <https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology>. {in English}.