

УДК 528.4:332.3

**ІНТЕГРАЦІЯ АНАЛОГОВОГО ТА ЦИФРОВОГО ЗНІМАННЯ В СИСТЕМАХ
ЗЕМЛЕУСТРОЮ: НОВІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Д-р техн. наук В. О. Боровий, д-р пед. наук О. В. Браславська, викл. Т. А. Рожі

**INTEGRATION OF ANALOG AND DIGITAL SURVEYING IN LAND MANAGEMENT
SYSTEMS: NEW OPPORTUNITIES FOR GEODETIC RESEARCH**

Dr. Sc. (Tech.) V. Borovyi, Dr. Sc. (Ped.) O. Braslavska, Lecturer T. Rozhi

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336377>



***Анотація.** У статті досліджено можливості поєднання традиційних геодезичних методів із сучасними технологіями. Інтеграція аналогових і цифрових методів дала змогу досягти сантиметрової точності геопозиціонування знімків із БПЛА, що підтверджено порівняльним аналізом за контрольними точками. Рівномірне розміщення опорних точок забезпечило зниження похибок до 10 см для ділянок до 20 м і до 1 м для протяжних ліній, що відповідає державним стандартам. Застосування БПЛА стало економічно вигідним, зменшивши витрати на 100 га порівняно з традиційними методами. Подальші дослідження передбачають удосконалення алгоритмів автоматизованої обробки даних БПЛА, урахування складних рельєфів і погодних умов, а також інтеграцію результатів у багаторівневі геоінформаційні системи для підтримки рішень у землеустрої.*

***Ключові слова:** геодезичні дослідження, землеустрій, аналогове знімання, цифрове знімання, БПЛА, цифрова модель місцевості, електронні геодезичні прилади.*

Abstract. *In the context of Ukraine's transition to a digital model of land management, there is a growing need to integrate analog and digital methods to ensure high accuracy and efficiency of geodetic data. The problem of the fragmentation of tools and methods of data collection, as well as dependence on the human factor, emphasize the need to develop automated approaches to cadastral surveying. The aim is to analyze the effectiveness of integrating analog geodetic measurements (total stations, GNSS receivers) and digital technologies (UAVs, photogrammetric processing) to increase the accuracy of geopositioning images and create digital terrain models in the process of land management. The study was conducted in the Berdychiv district of Zhytomyr region (40.5 ha) using a DJI Phantom 4 Pro UAV, a Trimble M3 digital total station and Trimble R4 dual-frequency RTK-GNSS receivers. Aerial photography was performed using a three-route scheme from a height of 30 m, 50 images with a resolution of 1 cm/pixel were obtained. For georeferencing, 11 ground reference points were used, placed in groups of three with a distance of 50-100 m between groups. The data were processed in the GeoTerminal FREE software environment with subsequent photogrammetric processing to create orthophotomaps and point clouds. The integration of analog and digital methods made it possible to achieve centimeter accuracy of geopositioning of UAV images, which was confirmed by a comparative analysis of control points. Uniform placement of reference points ensured a reduction in errors to 10 cm for sections up to 20 m and to 1 m for extended lines, which meets state standards. The use of UAVs turned out to be economically beneficial, reducing costs per 100 hectares compared to traditional methods. Further research involves improving algorithms for automated UAV data processing, taking into account complex terrain and weather conditions, as well as integrating the results into multi-level geographic information systems to support management decisions in land management. Special attention will be paid to the vectorization of analog maps and the development of multi-scale cartographic models.*

Keywords: *geodetic surveys, land management, analog surveying, digital surveying, UAV, digital terrain model, electronic geodetic instruments.*

Вступ. Трансформація у сфері землевпорядкування України зумовлена необхідністю підвищення точності геопросторових даних, забезпечення ефективного управління земельними ресурсами та впровадження інноваційних технологій в аграрному, містобудівному та екологічному секторах. Особливої актуальності набуває питання інтеграції аналогового та цифрового знімання для проведенні геодезичних досліджень і землеустрою. Землеустрій як багатокомпонентна система охоплює комплекс технічних, економічних і правових заходів, спрямованих на дослідження стану земель, оптимізацію їх використання, просторову організацію території та забезпечення правової визначеності в земельних відносинах. У межах цього процесу реалізують роботи, пов'язані зі створенням нових земельних ділянок, упорядкуванням уже наявних меж,

уточненням межевої конфігурації та формуванням бази для раціонального землекористування фізичними і юридичними особами.

Значну увагу в системі землеустрою приділено виконанню топографо-геодезичних досліджень, які слугують базисом для точного визначення площі, конфігурації та координатного положення земельних ділянок. В умовах української реальності, де земельна реформа супроводжена активним упровадженням цифрових кадастрових технологій та оновленням правової бази, важливою передумовою успішного здійснення землевпорядних дій є синергія традиційних аналогових методів із сучасними цифровими інструментами, зокрема використання глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), безпілотних літальних апаратів (БПЛА), геоінформаційних систем (ГІС) і 3D-

моделювання. У процесі створення геодезичних і знімальних мереж, що використовують для побудови топографічних планів і цифрових моделей місцевості, реалізують знімання не лише меж земельних ділянок, а й підземних і наземних інженерних мереж, об'єктів забудови, зелених насаджень і транспортної інфраструктури. У міських, приміських, сільських і рекреаційних ландшафтах України такі дослідження здійснюють з урахуванням рельєфу, типу забудови, ступеня заліснення території, що потребує застосування як класичних інструментів (теодолітів, тахеометрів, нівелірів), так і сучасного обладнання для цифрового знімання та автоматизованої обробки даних.

Підсумком виконаних землевпорядних робіт стає створення ґрунтової технічної документації – технічного звіту, який містить схеми планово-висотної основи, результати польових вимірювань, каталоги координат і висот, цифрову модель місцевості, детальні інженерно-топографічні плани та графічні матеріали в електронному вигляді. Ось такого виду інтегрована методика, що базована на поєднанні аналогового досвіду і цифрових інновацій, дає змогу досягти високого рівня достовірності просторових даних, оптимізувати витрати часу і ресурсів, а також забезпечити відповідність результатів геодезичних досліджень вимогам законодавства та сучасним викликам у сфері землеустрою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як зазначають у своєму дослідженні Кочеригін Л., Кімейчук І. [3], проблема невідповідності фактичного стану земельних об'єктів у межах населених пунктів України даним, що містяться в державних кадастрових базах, є надзвичайно актуальною, адже в окремих випадках розбіжності сягають від 5 до 20 % загальної кількості об'єктів. Автори звертають увагу на те, що ці системні похибки мають прямий зв'язок із недостатнім рівнем впровадження сучасних

інформаційно-геодезичних технологій у сферу землеустрою, особливо в малих і сільських громадах, де обмеженість фінансових ресурсів і дефіцит кваліфікованих кадрів не дають змогу здійснювати належне оновлення просторових даних.

На думку Ситника О., Безлатньої Л. [7], Фостер А., Рахімзаде-Баджіран П., Дейньо А., Вайскіттель А. [13], однією з першопричин критичної ситуації у сфері актуалізації даних про земельні ділянки є фрагментарне застосування цифрових методів знімання та нехтування можливостями інтеграції цих технологій із традиційними аналоговими підходами. Дослідники переконливо доводять, що лише поєднання польового аналогового знімання (із застосуванням класичних тахеометричних або нівелірних інструментів) із цифровими засобами позиціонування, фотограмметрією та геоінформаційними системами і формує достовірну, узгоджену та придатну для багатоцільового використання кадастрову інформацію, яка відповідає реальній ситуації для певної місцевості.

Автори роботи [8] зазначають, що землевпорядна практика в Україні потребує системного оновлення картографічної основи, адже значна частина об'єктів нерухомості зазнала змін у результаті реконструкції, перебудови або ліквідації, однак відповідні оновлення не були внесені до баз даних. У зв'язку з цим виникає потреба в реалізації комплексних топографо-геодезичних робіт, під час яких важливо не лише виконати знімання, а й забезпечити його точну геоприв'язку, інтеграцію з існуючими шарами геоінформації, а також розмежування цифрових і аналогових джерел просторових даних [23].

У дослідженні [16] запропоновано концептуальну модель оновлення системи землевпорядного забезпечення, в основі якої лежить синергетичне застосування аналогового та цифрового знімання, де перше виконує роль базового способу перевірки фактичного стану об'єкта на

місцевості, тоді як друге дає змогу автоматизувати обробку, зберігання, передавання й візуалізацію даних у межах єдиної геопортальної платформи. Автори наголошують, що інтеграція цих двох підходів у процесі землеустрою є не лише технічно доцільною, а й економічно виправданою в умовах децентралізації, коли територіальні громади отримали більше повноважень, але не завжди мають ресурс для повноцінного переходу на виключно цифрові технології. Отже, аналіз наукових праць свідчить про неповний консенсус серед фахівців у тому, що розв'язання проблеми достовірності кадастрових даних в Україні можливе лише за умов поєднання переваг аналогового знімання, що забезпечує перевірену точність, з функціональністю та оперативністю цифрового інструментарію у сфері землевпорядкування.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є обґрунтування та експериментальна перевірка ефективності інтеграції аналогових і цифрових методів знімання для сучасних геодезичних досліджень і землеустрою.

Завдання дослідження:

- проаналізувати технічні особливості та переваги застосування БПЛА і цифрових тахеометрів порівняно з традиційними інструментами;

- розробити схему оптимального поєднання аналогових і цифрових технологій для створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу і тривимірних реконструкцій територій;

- обґрунтувати перспективи впровадження інтегрованих знімальних підходів у систему державного земельного кадастру та просторового планування.

Основна частина дослідження. Кадастрове знімання, що є основним етапом фіксації просторових характеристик земельних ділянок, традиційно виконують із застосуванням широкого спектра вимірювального обладнання, результати

роботи якого фіксують у вигляді абрисів і графічних матеріалів на паперових носіях. При цьому всі геодезичні вимірювання здійснюють із прив'язкою до конкретних реперів або фіксованих точок на об'єктах нерухомості, з дотриманням встановлених меж допустимих похибок, зокрема не більше 10 см для вимірювань до 20 м і в межах 1/200 довжини для більш протяжних ліній, але не більше 1 м (рис. 1).

У практиці землеустрою України, залежно від цілей знімання, застосовують різні способи фіксації контурів ділянок: з'єднувальні лінії, перпендикуляри, триангуляцію, обходи тощо, що дає змогу адаптувати процедури під конкретну місцевість і конфігурацію об'єктів. Однак, попри технологічну різноманітність приладів, від класичних тахеометрів і геодезичних рейок до високоточних компараторів, автоматизованих робочих станцій і лазерних сканерів, загальною проблемою залишається те, що ці інструменти часто не забезпечують єдиної логіки збору й обробки даних. Багато аналогових пристроїв не мають цифрових модулів або внутрішньої пам'яті, що ускладнює подальшу інтеграцію результатів у єдину базу геоданих [4].

За спостереженнями українських фахівців, така розрізненість у засобах збору та фіксації даних потребує від геодезиста багатоетапного узгодження позицій приладів і подальшого зведення результатів із різних джерел у спільну таблицю для обробки. Це у свою чергу не лише може уповільнити весь процес знімання, а й підвищити ймовірність похибок, що виникають через людський фактор, складність позиціонування приладів на одній і тій самій висоті або координаті, а також технічні обмеження самих пристроїв [5]. У зв'язку з цим усе більше уваги приділяють впровадженню автоматизованих геодезичних комплексів, що поєднують функції точного знімання, цифрової обробки та візуалізації результатів у режимі реального часу (рис. 2).

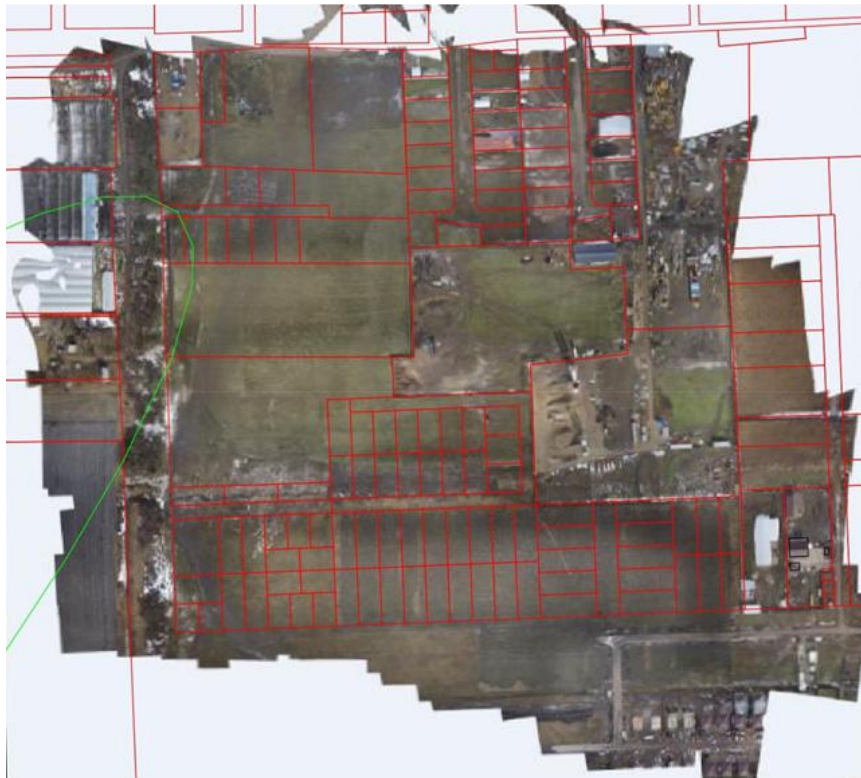


Рис. 1. План території площею 40,5 га (територія Бердичівського району Житомирської області), створений на основі інтеграції цифрового знімання з інформацією державного кадастру. Червоним позначено межі земельних ділянок, зеленим – зони з особливими умовами використання території, чорним – контури будівель і споруд [2]

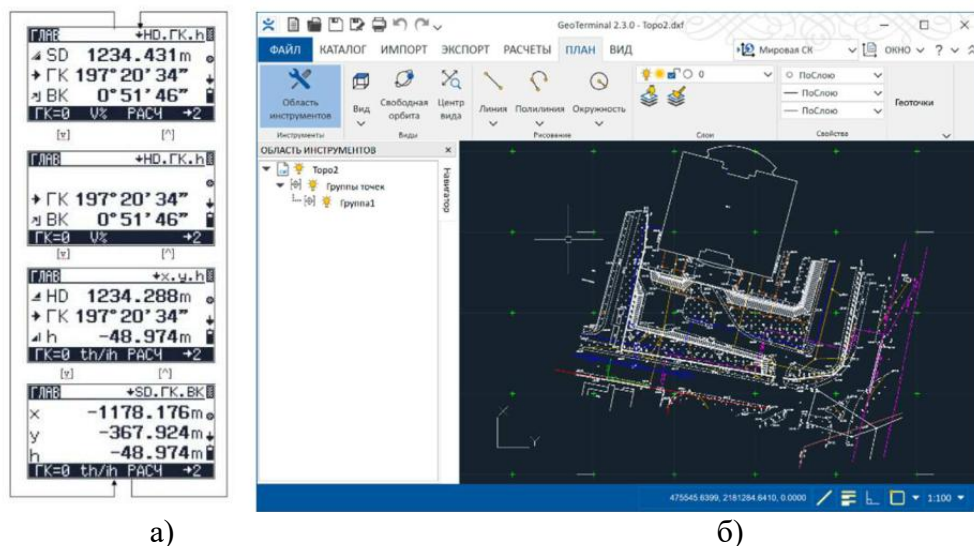


Рис. 2. Інтеграція даних цифрового тахеометра Trimble M3 у процесі геодезичних знімальних робіт: а – виведення інформації на дисплеї приладу; б – обробка результатів знімання у програмному середовищі GeoTerminal FREE [17]

Зокрема, сучасні цифрові тахеометри з вбудованими блоками обробки та дисплеями дають змогу не лише підвищити оперативність вимірювань, а й зменшити потребу в наступній обробці даних. Остаточні результати: кадастрові плани, технічна документація, карти і схеми, уже формують автоматично на основі звітних таблиць у спеціалізованому програмному забезпеченні, що сприяє високій точності, відповідності державним стандартам і значно знижує ризик помилок. У контексті активного розвитку геодезичних і землевпорядних технологій в Україні, особливо в умовах переходу до цифрової моделі управління земельними ресурсами, дедалі більшого значення набуває впровадження легких безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як інструменту, що забезпечує ефективну інтеграцію аналогового та цифрового знімання в єдиний процес збору геопросторових даних.

Як свідчить сучасна практика, застосування БПЛА з максимальною злітною масою до 30 кг є економічно доцільним варіантом для проведення широкомасштабних кадастрових і топографо-геодезичних робіт, оскільки поєднує в собі прийнятну вартість, мобільність і високу продуктивність [20].

При цьому вибирають конкретну модель БПЛА і методику знімання виходячи з технічного завдання, типу об'єкта дослідження, особливостей рельєфу, погодних умов і необхідної точності кінцевого результату. Запуск безпілота неможливий без попереднього розроблення польотного завдання, що включає етапи планування маршруту, підготовки до польоту, контролю під час виконання завдання (із можливістю вносити оперативні корективи), а також обробки отриманих результатів уже після завершення польоту. Зокрема, саме на цьому етапі відбувається зчитування та обробка аерофотознімків, фіксація координат знімальних центрів і верифікація за опорними точками.

Ефективність використання БПЛА значною мірою залежить від масштабу запланованих робіт: для масштабу 1:500 безпілота здатний охопити територію до 5 км² за один виліт, тоді як для масштабу 1:2000 ця площа може досягати 15 км². Слід зазначити, що загальна вартість робіт із застосуванням БПЛА, включаючи знімання, створення ортофотопланів і цифрових моделей місцевості, у перерахунку на 100 га є значно нижчою, ніж у разі використання традиційних геодезичних методів, які залишаються витратнішими за обсягом необхідної робочої сили, часу та ресурсів (рис. 3).

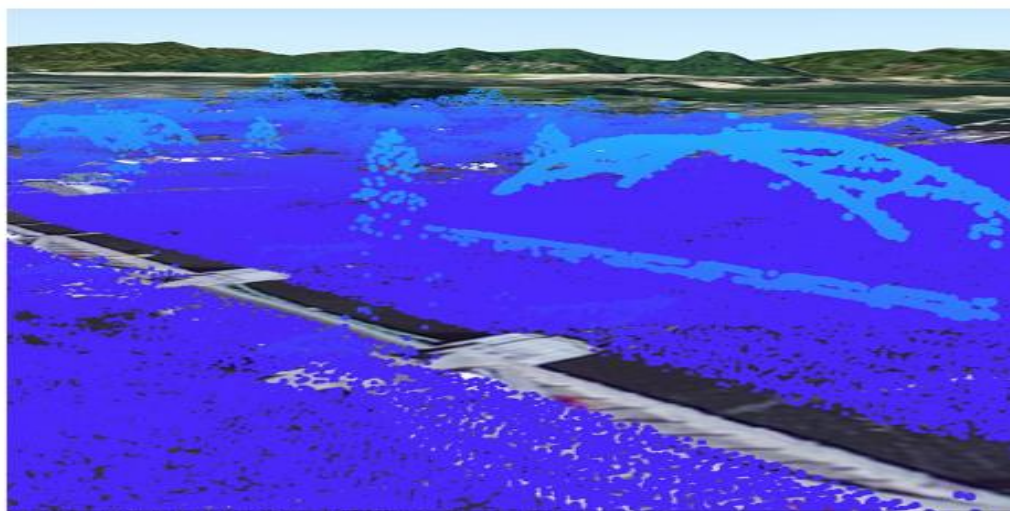


Рис. 3. Хмара точок, отримана в результаті інтегрованого аналогового та цифрового знімання земельної ділянки [15]

У межах дослідження було виконано комплексне аерофотознімання з застосуванням безпілотної літальної апарату DJI Phantom 4 Pro (рис. 1), який забезпечує високу точність цифрового знімання завдяки вбудованій камері з високим розрізненням і стабілізованою платформою. Польоти здійснювали за тримаршрутною схемою, кожен із маршрутів мав довжину приблизно 900 м, а висота, на якій здійснювали фотографування, становила близько 30 м, що дало змогу досягти просторового розрізнення зображень на рівні близько 1 см на піксель [14]. Знімання проводили на території і навколо селища Іванопіль, Бердичівського району Житомирської області.

Під час знімання було отримано 50 високоякісних цифрових зображень, які охоплювали всю досліджувану ділянку. Для забезпечення точності геоприв'язки та подальшої фотограмметричної обробки використовували 11 наземних опорних точок, які були рівномірно розташовані групами по всій площі обстеження. Кожна група складалася з трьох точок, і такі групи були розміщені на відстані 50–100 м одна від одної вздовж маршрутів польоту. При цьому всередині кожної групи відстань між точками сягала приблизно 20 м у поперечному напрямку маршруту, ширина якого становила 90 м (дані наведено в таблиці) [17].

Таблиця

Вихідні дані для оцінювання точності геоопозиціонування знімків з інтеграцією аналогового та цифрового знімання з БПЛА [6, 21]

Секція	Група тестування	Кількість опорних точок	Кількість контрольних точок	Кількість маршрутів	Особливості розміщення точок / Примітки
А	A1	–	–	1	Пряме геоопозиціонування (без опорних точок)
	A2	0	34	2	Аналіз точності без використання опорних точок
	A3	–	–	3	–
В	B1	–	–	1	Локалізоване розміщення опорних точок на початку маршруту
	B2	3	31	2	Нерівномірне покриття зони знімання
	B3	–	–	3	–
С	C1	–	–	1	Часткове рівномірне покриття
	C2	6	28	2	Опорні точки рівномірно розміщені
	C3	–	–	3	–
D	D1	–	–	1	Рівномірне розміщення по всьому зніманню
	D2	12	22	2	Підвищена щільність опорних точок
	D3	–	–	3	–
Е	E1	–	–	1	Повне використання опорних точок
	E2	34	0	2	Класичне непряме геоопозиціонування
	E3	–	–	3	–

Окрему увагу було приділено трьом контрольним опорним точкам (48-2, 50 і 51), які були винесені на лівий край зони дослідження, як показано на рис. 2. Ці точки були використані для порівняльного аналізу точності різних методів геопозиціонування і дали змогу якісно оцінити ефективність інтеграції аналогових вимірювань із

цифровими даними, отриманими з БПЛА. Для визначення точних координат усіх опорних точок застосовано систему супутникового позиціонування RTK-GNSS із використанням двочастотних приймачів Trimble R4, що забезпечує сантиметрову точність визначення просторових координат у реальному часі (рис. 4) [22].

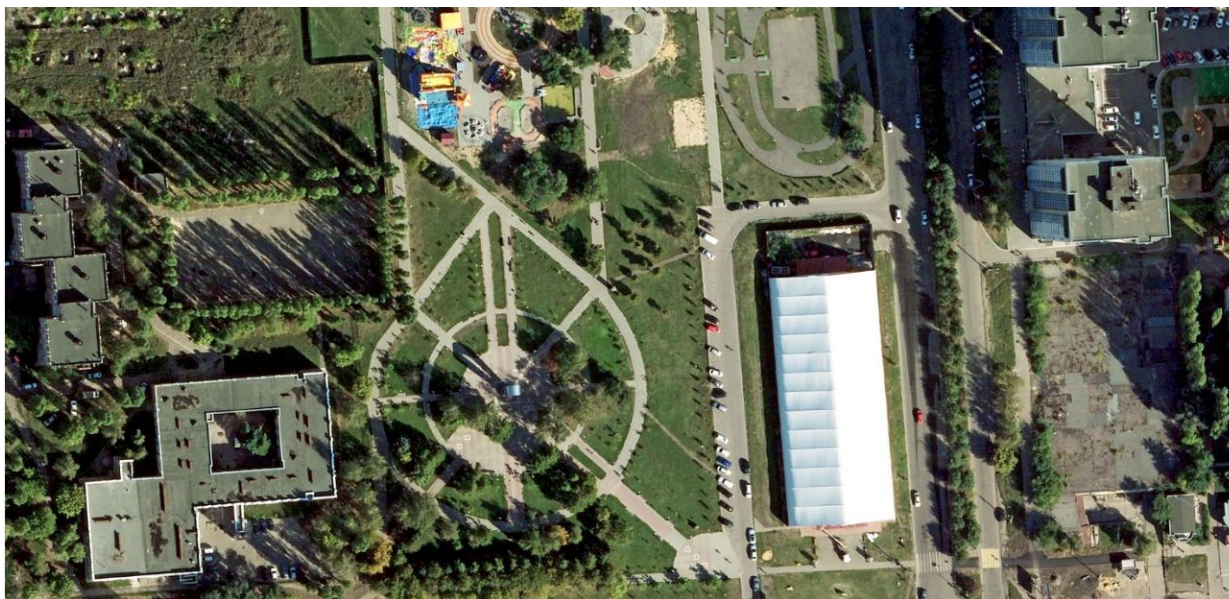


Рис. 4. Ортофотоплан, створений на основі інтеграції цифрового знімання з БПЛА (отримано авторами)

Разом із тим, незважаючи на переваги, слід ураховувати й певні обмеження, зокрема залежність точності польоту від погодних умов, особливо вітру, що зумовлює необхідність забезпечення високого ступеня перекриття знімків вже понад 80 % у поздовжньому і понад 40 % у поперечному напрямках. Також у випадках, коли рельєф надто складний або просторових маркерів недостатньо, виникає потреба в залученні традиційних аналогових методів для уточнення координат і геометричних характеристик ділянок. Використання супутникових навігаційних систем і високоточних сенсорів на борту БПЛА дає змогу отримувати цифрові знімки з надвисоким

просторовим розрізненням, які в подальшому обробляють в автоматизованих фотограмметричних програмних комплексах (рис. 5).

У переважній більшості випадків цю обробку здійснюють автоматично, хоча низку основних операцій усе ще необхідно проводити вручну. Вихідними даними для фотограмметричної обробки є не лише самі зображення, але й координати центрів фотографування та наземні опорні точки. У результаті комплексної обробки отримують такі цифрові продукти, як хмари точок, тривимірні моделі рельєфу, ортофотоплани та цифрові моделі місцевості, які можуть бути інтегровані в загальнодержавні геоінформаційні системи [19].



Рис. 5. Тривимірна модель місцевості, сформована в результаті обробки даних цифрового знімання з БПЛА (отримано авторами)

У межах підходу для інтеграції аналогового та цифрового знімання з проведенням геодезичних досліджень і землеустрою створення цифрової моделі території розглядають як багатоступеневий процес, що охоплює низку взаємопов'язаних етапів, спрямованих на формування єдиного інформаційного середовища з високою точністю і актуальністю просторових даних [1]. Першим і надзвичайно важливим етапом цього процесу є векторизація аналогових картографічних джерел, тобто перетворення наявних друкованих матеріалів у цифрову форму шляхом отримання растрових зображень і їх подальшого перекодування у векторні структури. Відмінною особливістю цього етапу є той факт, що вихідна інформація, отримана з архівних топографічних або тематичних карт, часто містить застарілі відомості, які потребують уточнення та актуалізації [18]. Водночас використання таких джерел дає змогу суттєво зменшити витрати часу та ресурсів, особливо з масштабним картографуванням великих за площею територій, зокрема

робота з картами середнього, дрібного або оглядового масштабів (від 1:200 000 до 1:1 000 000 і дрібніших), де реальні зміни на земній поверхні не мають суттєвого впливу на загальну структуру зображення, окрім оновлень транспортної мережі, контурів лісових масивів, сільськогосподарських угідь або нових елементів інженерної інфраструктури (ліній електропередач, газопроводів, трубопроводів тощо) (рис. 6).

Другим основним етапом є побудова цифрових моделей території на основі результатів сучасного аналого-цифрового знімання, зокрема польових геодезичних робіт і аерофотознімання з використанням БПЛА. Завдяки широкому впровадженню автоматизованих геодезичних приладів (цифрових тахеометрів, GNSS-приймачів, лазерних сканерів) цей процес виконуваний у напівавтоматизованому режимі, що дає змогу в реальному часі створювати електронні абрисы, передавати їх на комп'ютери й одразу генерувати цифрові моделі рельєфу або поверхні, які слугують основою для подальшого землеустрою або кадастрового картографування [22].

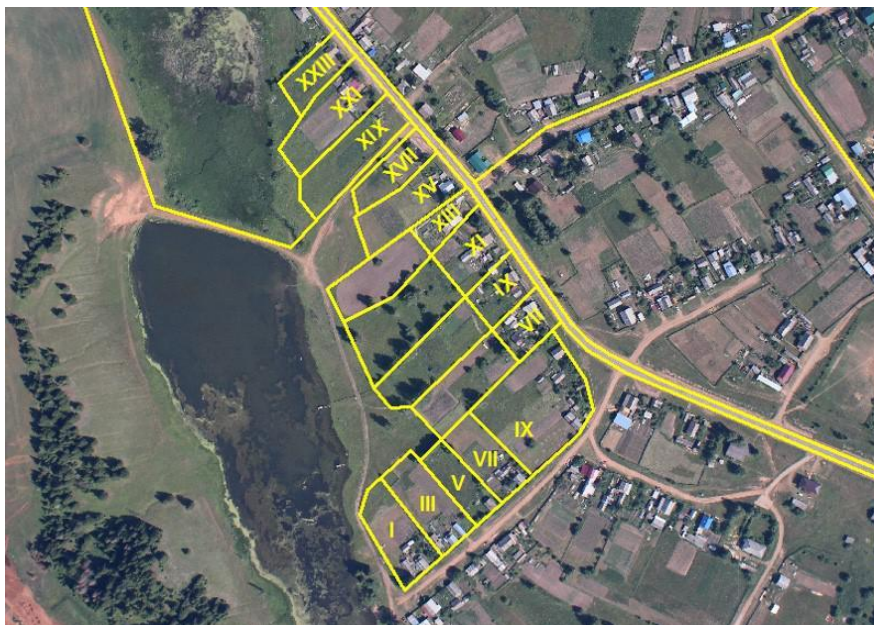


Рис. 6. Матеріали аерофотознімання з БПЛА, оброблені в рамках інтеграції аналогового та цифрового знімання для потреб кадастрової діяльності та землеустрою (отримано авторами)

Третій важливий етап передбачає тематичне картографування на основі комплексного аналізу розрізнених баз даних природничого, технічного, соціального та екологічного змісту. Зокрема, це можуть бути карти ґрунтів, які широко застосовують для кадастрового оцінювання, агровиробничого групування земель, просторового зонування або моніторингу змін у землекористуванні. Додатковими джерелами є карти щільності населення, кліматичних параметрів (температури, вологості), типів рослинності, антропогенного навантаження або екологічного стану довкілля, які підлягають інтеграції в єдину геоінформаційну основу для підтримки управлінських рішень у сфері землеустрою.

Завершальним етапом є створення багаторівневих мультимасштабних карт, які дають змогу користувачеві працювати з просторовими об'єктами в різних масштабах з урахуванням специфіки завдань. Цей процес передбачає збирання первинних картографічних матеріалів для визначеної території; приведення всіх зібраних матеріалів до єдиної системи координат, а також розроблення структури карти,

оформлення легенди, формування окремих тематичних шарів. Для підвищення точності та зручності візуалізації картографічних об'єктів доцільним є поділ інформації на окремі групи залежно від змісту, призначення та рівня деталізації із подальшим налаштуванням параметрів відображення кожної групи відповідно до масштабу карти, що забезпечує точність і зрозумілість відображення навіть з великим охопленням території.

Висновки. У роботі було досліджено особливості взаємодії традиційних аналогових методів геодезичного знімання, зокрема класичного кадастрового знімання, що передбачає використання таких приладів, як теодоліти, тахеометри, а також графічні матеріали у вигляді абрисів, із сучасними цифровими технологіями, серед яких на перше місце виходять безпілотні літальні апарати (БПЛА), GNSS-приймачі та автоматизовані геодезичні системи, що забезпечують значно вищу точність, швидкість та можливість комплексної обробки отриманих даних. Розглянуто послідовність підготовки та проведення польових знімальних робіт, у рамках якої

окремо проаналізовано алгоритм формування польотного завдання для БПЛА, з урахуванням не лише технічних параметрів апаратури, але й особливостей території, а також принципи встановлення наземних опорних точок, що є основним елементом для забезпечення високої точності геопозиціонування, а також різні методи контролю якості отриманих результатів.

Запропоновано узагальнену структурно-функціональну модель реалізації поетапної інтеграції аналогових і цифрових методів знімання, спрямовану на створення ортофотопланів, хмар точок, тривимірних моделей місцевості та інших геопросторових даних, придатних для подальшого використання в геоінформаційних системах державного

рівня. Крім того, авторами розроблено науково обґрунтований методичний підхід для формування цифрових мультимасштабних карт, який передбачає послідовне виконання кількох основних етапів: векторизацію сучасних аналогових джерел даних, автоматизовану побудову моделей рельєфу на основі результатів БПЛА-знімання, тематичне картографування з використанням різноманітних шарів екологічних, демографічних і аграрних, а також організацію гнучкої структури відображення географічних об'єктів, адаптованої до конкретного масштабу та функціонального призначення карти, що забезпечує максимальну корисність і актуальність кінцевого продукту для різних категорій користувачів.

Список використаних джерел

1. Ворох В. В., Зацерковний В. Використання безпілотних літальних апаратів в задачах прецизійного землеробства. *Технічні науки та технології*. 2024. № 4(38). С. 336-349. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4\(38\)-336-349](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4(38)-336-349).
2. Дружинін Є. А., Ковалевський М. І., Погудіна О. К., Черановський В. О. Методи та інформаційні технології впровадження безпілотних літальних апаратів в повітряний простір України. *Системи озброєння і військова техніка*. 2021. № 4(68). С. 84-90. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.68.12>.
3. Кочеригін Л. Ю., Кімейчук І. В. Геоінформаційний моніторинг змін вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок Черкаської області за радарними даними. *Вісник Малинського фахового коледжу*. 2023. Вип. 2. С. 157-174.
4. 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. Вип. 47. С. 16-26. DOI: [10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3](https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3).
5. Могильний С. Г., Хайнус Д. Д., Винограденко С. О. Аналіз точності кадастрових зйомок із застосуванням БПЛА. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Т. 9. № 1. С. 146-151. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24>.
6. Папуша Д. Я., Оболонков Д. Ф. Автоматизація процесів обробки геодезичних даних за допомогою штучного інтелекту та машинного навчання. *Збірник наукових праць ДонНАБА*. 2024. № 1(32). С. 36-41.
7. Ситник О., Безлатня Л. Аналіз сучасних методів і засобів для обстеження та виконання великомасштабного геодезичного знімання меліорованих земель. *Природничі науки та природокористування*. 2024. Вип. 1. С. 112-113.
8. Шевчук С. М., Прокопенко Н. І., Рожі Т. А. Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Кадастр, землеустрій та управління земельними ресурсами*. 2024. № 7. С. 445-458. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>.

9. Кирилук В., Рожі Т., Харів В. Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. *Просторовий розвиток*. 2023. (6). С. 293–308. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>.
10. Боровий В., Браславська О., Рожі Т. Супутникове та БПЛА-знімання як інструменти моніторингу земельних ресурсів: сучасні технології та їх застосування в Україні. *Технічні науки та технології*. 2025. (1 (39), С. 315–327. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1\(39\)-315-327](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1(39)-315-327).
11. Браславська О., Дець Т., Рожі Т. Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. *Просторовий розвиток*. 2023. (5), С. 268–285. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>.
12. Рожі І., Рожі Т., Федій О. Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. *Просторовий розвиток*. 2024. (8). С. 477–491. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>.
13. Foster A., Rahimzadeh-Bajgiran P., Daigneault A., Weiskittel A. Cost-effectiveness of remote sensing technology for spruce budworm monitoring in Maine, USA. *Forests Monitor*. 2024. 1(1):66–98. DOI: <https://doi.org/10.62320/fm.v1.i1.14>.
14. Kudaibergenov O. Analysis of the Use of Satellite Data and Drones for Land Monitoring in Kazakhstan. Preprints. 2024. DOI: 10.20944/preprints202410.1229.v1.
15. Landsat 8. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
16. Liu C., Li X., Xue Y., Lu W., & Zhang C. Development and applications of an integrated space-air-ground observation network in natural resource monitoring and supervision. *E3S Web of Conferences*. 2024. No 520. 04018. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452004018>.
17. Makam S., Komatineni B. K., Meena S. S., et al. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): An Adoptable Technology for Precise and Smart Farming. *Discover Internet of Things*. 2024. № 4. С. 12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00066-5>.
18. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. No 2(13(128)). P. 47-57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.
19. Omer A. A., Akbari D. Smart Farming Platform Using IoT and UAVs. *Iraqi Journal for Computers and Informatics*. 2024. No 50(1). P. 151-171. DOI: <https://doi.org/10.25195/ijci.v50i1.464>.
20. Sun J., Yuan G., Song L., Zhang H. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Landslide Investigation and Monitoring: A Review. *Drones*. 2024. No 8(1). P. 30. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8010030>.
21. Tomczyk A. M., Ewertowski M. W., Creany N., Ancin-Murguzur F. J., Monz C. The application of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and GIS to the analysis and monitoring of recreational trail conditions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023. No 118. P. 103474. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103474>.
22. Van Alphen R., Rains K. C., Rodgers M., Malservisi R., & Dixon T. H. UAV-based wetland monitoring: Multispectral and Lidar fusion with random forest classification. *Drones*. 2024. No 8(3). P. 113. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8030113>.
23. Xing J., Sun S., Huang Q., Chen Z., Zhou Z. Application of Geoinformatics in Forest Planning and Management. *Forests*. 2024. 15(3). P. 439. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15030439>.

Боровий Валентин Олександрович, доктор технічних наук, професор кафедри географії, геодезії та землеустрою, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (Умань, Україна).
E-mail: v.o.borovy@udpu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0965-63132>.

Браславська Оксана Володимирівна, доктор педагогічних наук, професор кафедри географії, геодезії та землеустрою, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (Умань, Україна).

E-mail: oksana.braslavska@udpu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-686X3>.

Рожі Томас Адальбертович, викладач кафедри географії, геодезії та землеустрою, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (Умань, Україна). E-mail: tomas.rozhi.94@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9662>. Tel.: +38 (096) 7529675.

Borovyi Valentyn Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geography, Geodesy and Land Management Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine). E-mail: v.o.borovyi@udpu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0965-63132>.

Oksana Braslavska Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Geography, Geodesy and Land Management, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine).

E-mail: oksana.braslavska@udpu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-686X3>.

Tomas Rozhi Lecturer at the Department of Geography, Geodesy and Land Management, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine). E-mail: tomas.rozhi.94@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9662> Tel.: +38 (096) 7529675.

Статтю прийнято 30.06.2025 р.