DOI: 10.32347/2786-7269.2025.11.597-610
УДК 528.9+629.7.036.5

к.т.н., доцент **Дорожко Є.В.,**
evgeniy.dorozhko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2894-2131,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
к.г.н., доцент **Ситник О.І.,**
sytnykuman@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8120-7032,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,
Кравчук М.О.,
myroslav.o.kravchuk@lpnu.ua, ORCID: 0009-0000-8743-8715,
Національний університет "Львівська політехніка"

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (БПЛА) ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗНІМАННЯ

Проведено комплексний аналіз ефективності використання безпілотних літальних апаратів для точного геодезичного знімання, що стає все більш важливим у сучасних методах збору та обробки геопросторових даних. Встановлено, що інтеграція глобальних систем позиціонування та фотограмметричних камер у конструкцію цих апаратів дозволяє створювати деталізовані тривимірні моделі рельєфу і тематичні карти з високою роздільною здатністю, що мають значне практичне застосування в областях геодезичного забезпечення земельних кадастрів, ландшафтного планування, екологічного забезпечення та районування. В межах статті виокремлено основні відмінності між класичними методами геодезії та новітніми підходами, що базуються на використанні безпілотників, зокрема щодо точності, швидкості збору даних, мобільності та витрат. Відзначено, що автономність безпілотників дозволяє здійснювати знімання великих територій у короткі терміни та мінімізувати необхідність фізичної присутності операторів, що критично важливо для роботи в труднодоступних зонах. Також зазначено, що створення ортофотопланів за допомогою БПЛА забезпечує високий рівень деталізації та точності, перевищуючи результати, які можна отримати з допомогою традиційних методів. Обґрунтовано необхідність використання БПЛА для вирішення завдань моніторингу стану земельних ресурсів, оцінки ерозійних процесів, визначення меж сільськогосподарських угідь та управління водними потоками. Був детально сформований методичний підхід щодо проведення аналізу морфометричних характеристик рельєфу, який включає оцінку ухилів, виявлення зон перезволоження та визначення напрямків водних потоків, базуючись на даних, отриманих за допомогою БПЛА. Запропоновано регулярне

використання технологій БПЛА для оновлення кадастрових записів, моніторингу територій та виявлення змін у землекористуванні, що дозволяє значно покращити управління природними ресурсами та планування використання земель. Зроблено висновок, що використання БПЛА є економічно вигідним, технічно ефективним та перспективним рішенням для виконання геодезичних завдань різної складності.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати; високоточне геодезичне знімання; цифрові моделі рельєфу; аерофотознімання; ортофотоплани; моніторинг земельних ресурсів.

Постановка проблеми. Актуальність дослідження обумовлена зростаючим впровадженням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в поточних методиках геодезичних досліджень та картографуванні, де в останні роки спостерігається значний прогрес технологій БПЛА, що дозволяє здійснювати детальні геодезичні знімання з високою продуктивністю та на широких масштабах, що раніше було недосяжним для класичних методів. Саме така можливість набуває особливого значення в умовах глобальних змін, необхідності екологічного моніторингу, розвитку інфраструктурних проєктів та реалізації завдань землеустрою. Безпілотні апарати пропонують значні переваги, як-от здатність здійснювати знімання територій, до яких важко дістатися або які характеризуються підвищеною небезпекою, забезпечують можливість оперативного оновлення геоданих та сприяють скороченню витрат на проведення геодезичних робіт. В умовах зростаючого попиту на точні геодані для потреб господарського планування, аграрного господарства, лісового менеджменту та управління водними ресурсами, БПЛА органічно стали незамінним інструментом і поточне дослідження акцентуватиме наукову увагу на розробці нових підходів та алгоритмів для обробки зібраних даних, а також їх інтеграції з існуючими геоінформаційними системами, що має на меті підвищення точності, надійності та доступності геодезичних даних у різних секторах національного господарства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наукових дослідженнях Чабанюк В., Поливач К. [1], Мостафа М., Соболь С., Хаттон Дж. [2], підкреслюються переваги БПЛА для точного знімання в топографії, кадастрах, моніторингу земель і екологічному контролі. В свою чергу науковці Гематулін В., Камсінг П., Тортіка П., Сомджіт Т., Фісаннупавонг Т., Джараван Т. [3], вказують, що завдяки високій роздільній здатності знімків дрони забезпечують створення деталізованих 3D моделей місцевості, що важливо для інженерного проєктування та моніторингу територій. Точність БПЛА підтверджується

порівняльними аналізами з традиційними методами, які є більш затратними і потребують більше часу.

Дослідження від Македон В., Валіков В., Федьора С. [4], Байцар Р., Телішевський А. [5], також висвітлюють економічну вигоду використання дронів: вони суттєво знижують витрати на створення ортофотопланів і 3D моделей, що робить ці технології доступними для агросектору, містобудування й управління земельними ресурсами. Крім того, БПЛА ефективні для екологічного моніторингу, зокрема, для виявлення зон ерозії, оцінки стану сільськогосподарських земель і моніторингу деградованих територій.

Далі відзначаємо роботи Сузукі Т., Такахаші Ю., Амано Ю. [6], де вказано, що технічні аспекти застосування дронів включають інтеграцію GNSS із фотограмметричними камерами, що дозволяє отримувати координати з мінімальними похибками, важливими для кадастрових робіт та інфраструктурних проєктів.

Мета і задачі дослідження. Мета статті – оцінка верифікація ефективності застосування безпілотних літальних апаратів для здійснення високоточного геодезичного знімання та створення деталізованих цифрових моделей рельєфу.

Завдання дослідження:

– проаналізувати можливості інтеграції GPS-обладнання та спеціалізованих фотограмметричних камер в конструкції безпілотних літальних апаратів для отримання точних геопросторових даних;

– оцінити ефективність БПЛА при створенні ортофотопланів, тривимірних цифрових моделей рельєфу та тематичних геодезичних карт із високим рівнем деталізації;

– сформувати рекомендації щодо практичного використання БПЛА у сфері кадастру, містобудування та екологічного моніторингу з метою оптимізації геодезичного вимірювання земельних діяльнок.

Матеріали та методи. Метод квантитативного аналізу точності геодезичних даних включає здійснення експериментального аерофотознімання за допомогою безпілотних літальних апаратів на різнопланових територіях, які характеризуються різноманітними географічними та рельєфними особливостями. Використання спеціалізованих фотограмметричних камер та GPS-обладнання дозволяє збирати геодезичні дані, які подальше будуть порівнюватися з результатами, отриманими за допомогою традиційних геодезичних методів, таких як використання теодолітів чи наземних GNSS-спостережень. Проведення детальних вимірювань точності координат, роздільної здатності аерофотознімків, а також точності відтворення рельєфу, нарівні зі статистичним аналізом помилок і розрахунком середньоквадратичних

відхилень, сприятиме об'єктивній оцінці точності та надійності застосування БПЛА у геодезичних роботах.

В межах цього дослідження, проведеного у 2022 році, використання безпілотних літальних апаратів демонструє значні переваги для високоточного геодезичного знімання. Зокрема, аерофотознімання території було здійснено за допомогою камери Sony RX1, встановленої на борту БПЛА моделі Fixar 007. Знімки проводились з висоти 300 метрів, забезпечуючи просторову роздільну здатність 4 см на піксель. Для підвищення точності координат центрів знімків використовувались додаткове обладнання: геодезичний RTK приймач Emlid Reach M2 на борту апарату та ГНСС приймач Emlid Reach RS2, який розміщувався стаціонарно на землі. Дані, зібрані з цих приймачів, об'єднувалися у програмі TOPOSETTER з аерофотознімками, що дозволило зменшити похибку координат з 3-5 м до 7-10 см. Обробка масиву зображень, отриманих під час аерофотознімання, відбулася в Agisoft Metashape Professional, де знімки проходили етапи вирівнювання та оптимізації. Після цього, для кожного знімка було створено карти глибини та сформовано щільну хмару точок, на основі якої проводилась класифікація точок рельєфу.

Результати та їх обґрунтування. У XXI столітті спостерігається стрімкий розвиток технологій, які забезпечують оперативну та економічно доступну обробку геопросторових даних, що стало можливим завдяки інтеграції науково-технічних досягнень із соціально-економічними потребами суспільства. Такий підхід сприяв активному впровадженню в геодезичне виробництво цифрового, лазерного та іншого сучасного обладнання, що значно покращило якість і точність геодезичних робіт. Поряд із традиційними методами аерофотознімання, все більш затребуваними стають технології, що базуються на використанні безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які завдяки своїй універсальності та ефективності впевнено займають провідні позиції у сфері геодезії [5]. Особливу популярність отримали надлегкі БПЛА як літакового, так і вертолітного типів, що отримали загальновизнану назву «дрони» та демонструють значний потенціал для застосування у різноманітних сферах діяльності (рис. 1.).

Для виконання високоточного геодезичного знімання активно використовуються сучасні дрони, такі як DJI Phantom 4 TEO PPK GNSS, який став першим у світі серійним квадрокоптером, оснащеним модулем синхронізації. Цей пристрій, відомий з 2015 року під брендом «Topodron», здатний за один світловий день обробляти площу до 2000 га, що більш ніж удвічі перевищує показники конкурентів. Завдяки вбудованому приймачу ДПСС (диференційної глобальної супутникової системи) значно спрощується

процес знімання, оскільки можна відмовитися від використання наземних знаків для прив'язки знімків [8, с. 271].



Рис. 1. Зовнішній вигляд геодезичного дрона (БПЛА) [7]

Проведемо детальний аналіз відмінностей між традиційними методами геодезичних вимірів та методами, заснованими на застосуванні БПЛА (табл. 1).

Таблиця 1.

Відмінності між традиційними методами проведення геодезичних робіт та методами проведення, заснованими на застосуванні БПЛА (розроблено авторами)

№	Найменування параметра порівняння	Традиційні методи	З використанням БПЛА
1	Швидкість та ефективність	Робота з теодолітами та іншими інструментами вимагає значного часу на встановлення та вимірювання.	Автономний збір даних великих площ за короткий час, мінімальна участь оператора.
2	Точність та дозвіл	Залежить від кваліфікації геодезиста та характеристик обладнання, може бути обмеженою на великих відстанях.	Висока точність завдяки GNSS і камерам високої роздільної здатності, точні координати до 2 см.
3	Доступність та мобільність	Обмежена у важкодоступних районах; встановлення обладнання займає час і зусилля.	Висока мобільність, здатність працювати у важкодоступних місцях і долати перешкоди.
4	Витрати	Значні витрати на обладнання, його обслуговування та навчання персоналу.	Початкові інвестиції в дрони, але зниження витрат у довгостроковій перспективі завдяки економії часу.

Порівняння традиційних методів геодезичних вимірів та методів з використанням БПЛА наголошує, що вибір між цими підходами залежить від конкретних вимог проєкту, умов місцевості та цілей дослідження.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) вже отримали статус визначального інструменту у сфері високоточного геодезичного знімання, обробки та аналізу геопросторових даних. На основі представлених візуальних матеріалів, де

відображено ортофотоплан (рис. 2.) з етапом векторизації та поєднання ортофотоплану з топопланом у масштабі 1:2000 (рис. 3.), можна відзначити, що БПЛА забезпечують високу деталізацію та точність збору даних, що раніше досягалося лише за допомогою значно дорожчих та трудомістких методів.



Рис. 2. Ортофотоплан з етапом векторизації [9]

Етап векторизації, і як видно з рис. 2., це джерело чітких контурів об'єктів, які можна використовувати для інженерних, кадастрових та містобудівних завдань. Завдяки високій роздільній здатності знімків, що надаються БПЛА, геодезисти мають можливість швидко та точно здійснювати вимірювання навіть на великих територіях. Поєднання ортофотоплану з топографічним планом (рис. 3.) у масштабі 1:2000 демонструє ефективність використання БПЛА для створення топографічних карт високої деталізації, що формує технічну можливість не лише візуалізації рельєфу місцевості, але й отримання точних тривимірних моделей.

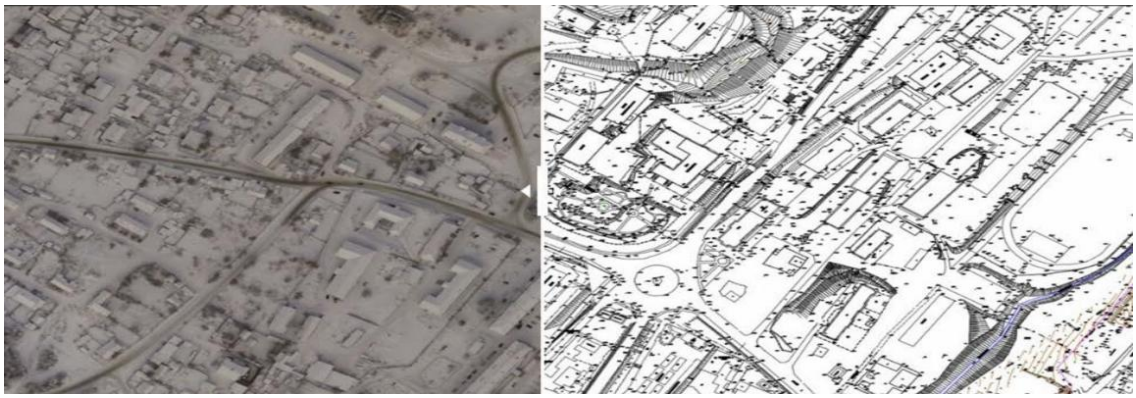


Рис. 3. Ортофотоплан та топоплан у масштабі 1:2000 [9]

Цифрові моделі рельєфу виконані за допомогою БПЛА, слугують надалі цінним фундаментом для виконання високоточних геодезичних робіт, зокрема в оцінці екзогенних процесів, і водночас їх точність прямо залежить від деталізації створених моделей. Використання безпілотних літальних апаратів

дозволяє з високою ефективністю формувати різночасові цифрові моделі рельєфу, що мають виняткову точність та деталізацію. Завдяки таким технологіям було створено високоточні цифрові моделі рельєфу на ключових малих водозборах річки Ташлик, розташованої у Кіровоградській області, що формує підходи до точного моніторингу змін рельєфу, виявлення динаміки екзогенних процесів і підвищення ефективності управління природними ресурсами, що є критично важливим для таких територій (рис. 4.) [10].

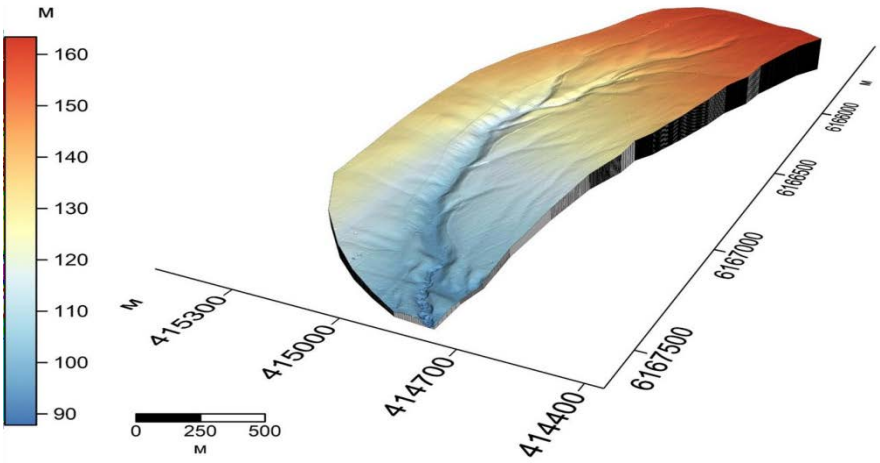


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу водозбору балки ділянки р. Ташлик (територія Кіровоградської обл.) (отримано авторами)

На основі тематичних карт, створених із використанням геоданих та знімання, виконаної за допомогою БПЛА, було зібрано значний обсяг детальної інформації про рельєф території фермерського господарства «АСК», що знаходиться в Кіровоградській області, Кропивницькому районі, селище Бокове. Рельєф досліджуваної місцевості характеризується значним діапазоном висот, які варіюються від 295 до 500 м над рівнем моря (рис. 5). Значна частина сільськогосподарських угідь розташована на схилах, орієнтованих у північному, південному та південно-східному напрямках [11].

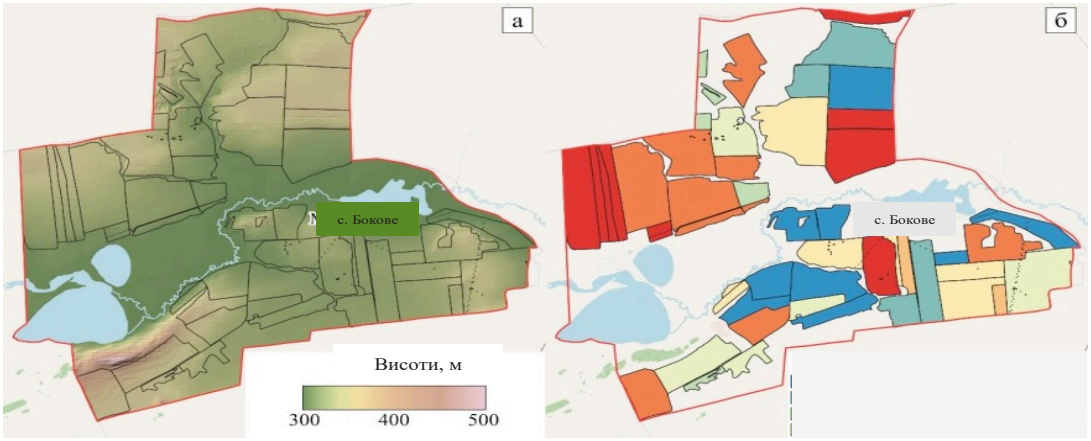


Рис. 5. Тематичні карти по набору даних геодезичних даних: а - карта висот; б – карта переважаючою експозиції полів (отримано авторами)

Знімання за допомогою БПЛА також дозволила ідентифікувати ділянки сільськогосподарських угідь із великими ухилами, що є важливим фактором для планування агротехнічних заходів, а також виявити численні гідрологічні шляхи, які відіграють важливу роль у збереженні водних ресурсів та управлінні земельними угіддями. Використання БПЛА у процесі проведення польових робіт дозволяє значно коригувати та уточнювати дані ЦМР, забезпечуючи вищу точність отриманого геодезичного знімання [12].

Зокрема, створення тематичних карт на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА (рис. 6.), дозволило не тільки уточнити розташування та значення ухилів на досліджуваній території, але й виявити нові області, які характеризуються високими показниками ухилів, що раніше могли залишатися непоміченими.

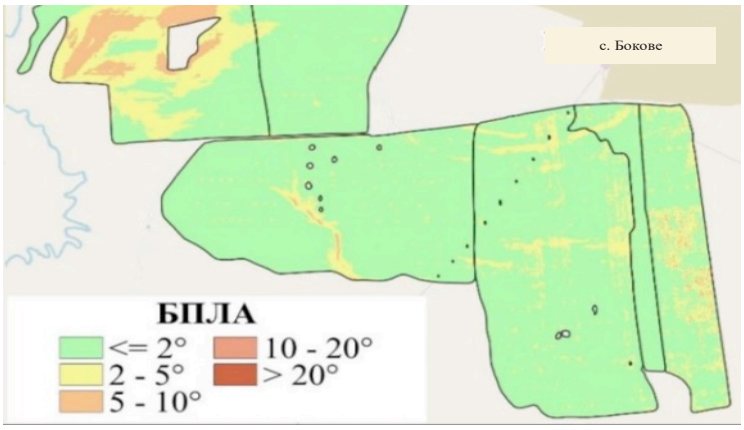


Рис. 6. Фрагменти тематичної геодезичної карти ухилів на прикладі групи полів ФГ «АСК», Кіровоградська обл., Кропивницький р-н, с. Бокове (отримано авторами)

Одним із прикладів ефективного використання БПЛА у геодезичному зніманні є створення тематичних геодезичних карт та поверхневого стоку води (рис. 7), які надають детальну інформацію про напрямки та особливості гідрологічних потоків.

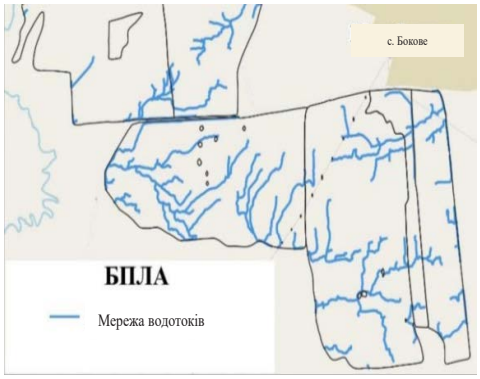


Рис. 7. Фрагменти тематичної геодезичної карти з розподілом шляхів потоків води: карта поверхневого стоку води (отримано авторами)

Тематична карта є особливо корисною для визначення шляхів водних потоків на великих територіях, таких як сільськогосподарські угіддя. При цьому геодезичні карти, побудовані на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА, дозволяють значно підвищити точність відображення основних шляхів водних потоків та їх відгалужень, що є важливим для планування водозберігаючих заходів і управління водними ресурсами [13, с. 424].

Висока роздільна здатність аерофотознімків, отриманих за допомогою БПЛА, дозволяє створювати надзвичайно точні тематичні карти, які детально характеризують рельєф досліджуваної території. Проте проведення знімання з використанням БПЛА не завжди можливе для всіх сільськогосподарських угідь через низку чинників, серед яких географічні, економічні та соціальні особливості регіонів. Порівняння морфометричних характеристик рельєфу, отриманих за допомогою даних із ЦМР та знімання з БПЛА, свідчить про високий рівень відповідності між ними, що саме і засвічує доцільність використання цифрових моделей рельєфу як альтернативного методу для отримання необхідних даних у випадках, коли проведення знімання БПЛА є неможливим.

Геодані, отримані з БПЛА, дозволили створити високоточні цифрові моделі рельєфу, а також тематичні карти ухилів для сільськогосподарських угідь, які відрізняються більшою деталізацією порівняно з традиційними методами. Крім того, були побудовані тематичні карти поверхневого стоку та накопичення води, які включають лінійні та майданні об'єкти [14, 15]. Такі карти допомагають візуалізувати напрямки водних потоків, ідентифікувати перезволожені ділянки та визначати області ризику для сільськогосподарської діяльності, що є важливим для раціонального управління водними ресурсами.

Технології, засновані на застосуванні БПЛА, забезпечують отримання високоточних зображень та даних, що дозволяє точно визначати межі земельних ділянок і нерухомості. Це знижує ризик помилок у кадастровій документації та підвищує довіру до якості кадастрових записів. Крім того, безпілотники дозволяють оперативно моніторити зміни на земельних ділянках, що є надзвичайно важливим для своєчасного оновлення кадастрових даних, виявлення незаконного будівництва чи інших змін у використанні землі. Такі можливості сприяють більш ефективному управлінню земельними ресурсами та раціональному геодезичному плануванню територій [16, с. 112].

Використання GPS-обладнання у складі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) суттєво покращує процес визначення точних географічних координат окремих ділянок земної поверхні, що дозволяє з високою точністю розраховувати їхні розміри, розташування та геометрію будівель і споруд. Це стало можливим завдяки створенню тривимірних карт місцевості, які

забезпечують детальне відображення рельєфу та інфраструктури. Додатково, оснащення БПЛА спеціалізованим фотографічним обладнанням дозволяє отримувати високоякісні зображення з високою роздільною здатністю, що є важливим для точного аналізу території.

Втім, подальше впровадження БПЛА як універсального інструменту для збору та обробки просторової інформації в кадастровій діяльності стикається з певними труднощами. Для інтеграції подібних технологій у загальну систему геодезичних досліджень потрібна скоординована співпраця між виробниками БПЛА, розробниками фотограмметричних систем і кінцевими користувачами, які експлуатують ці пристрої. Такого характеру співпраця має забезпечити розробку універсальних стандартів, які б гарантували точність, надійність і доступність технології для широкого застосування. Крім того, використання БПЛА надає можливість перевіряти відповідність фактичних меж майна даним, отриманим за допомогою аерофотознімання [17, с. 122-123]. Завдяки таким інструментам можна виявляти ділянки, що зазнають ерозійних процесів, а також землі з недостатнім вмістом поживних речовин. Технології на основі БПЛА забезпечують сучасний підхід до моніторингу та аналізу стану земельних ресурсів, сприяючи раціональному управлінню та геодезичному плануванню територій.

Висновки та рекомендації. У статті було розглянуто підвищення ефективності виробництва геодезичних робіт за допомогою впровадження технологій використання квадрокоптерів. Стаття наголошує на важливості використання безпілотних літальних апаратів для збирання геодезичної інформації, що призводить до суттєвого поліпшення точності та швидкості виконання вимірювань. У процесі проведеного дослідження встановлено, що поєднання GPS-обладнання та спеціалізованих фотограмметричних камер у конструкції безпілотників забезпечує можливість створення детальних тривимірних цифрових моделей рельєфу та тематичних карт із високою роздільною здатністю, які мають велике практичне значення для широкого кола галузей. Встановлено, що автономна робота безпілотників дозволяє охоплювати великі території за короткий час, мінімізуючи потребу в фізичній присутності операторів, що робить їх незамінними для виконання геодезичних кадастрових робіт, планування міської інфраструктури та моніторингу земельних ресурсів.

У дослідженні обґрунтовано, що застосування БПЛА для створення ортофотопланів і тематичних карт забезпечує точну та деталізовану візуалізацію рельєфу, яка має критично важливе значення для оцінки стану інженерних споруд, визначення меж сільськогосподарських земель, моніторингу ерозійних процесів і управління водними ресурсами. Розроблено

методику аналізу морфометричних характеристик рельєфу, що включає дослідження ухилів, водних потоків і зон перезволоження на основі даних, отриманих за допомогою БПЛА. Також запропоновано застосовувати технології БПЛА для систематичного моніторингу стану земельних ресурсів, оновлення кадастрової інформації та виявлення змін у використанні територій, що сприятиме підвищенню ефективності управління природними ресурсами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chabaniuk V., Polyvach K. Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering. 2020. No. 3(201). pp. 5–32.

2. 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.

3. 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.

4. Македон В.В., Валіков В.П., Федьора С.С. Удосконалення управління промисловими підприємствами на основі стратегій інноваційного розвитку. Європейський вектор економічного розвитку. 2019. №1. С. 108–125.

5. Baitsar R., Telishevskyi A. Application of unmanned aerial vehicles in construction industry. Energy Engineering and Control Systems. 2024. Vol. 10, No. 1. Pp. 35–42.

6. 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.

7. Фоменко В. Технології дронів у геодезії: перспективи та виклики. Наука і техніка сьогодні. 2024. № 9(37). С. 918–930.

8. Браславська О.В., Дець Т.І., Рожі Т.А. Роль геодезії у розвитку дрон-технологій для вимірювання, картографування та моніторингу територій. Геодезія та землевпорядкування. 2023. № 5. С. 268–285.

9. GIS for Land Administration – Esri. URL: www.esri.com/ industries/cadastre/.

10. Могильний С.Г., Хайнус Д.Д., Виноградeнко С.О. Аналіз точності кадастрових зйомок із застосуванням БПЛА. Український журнал прикладної економіки та техніки. 2024. Том 9. № 1. С. 146-151.

11. Maciąg K., Maciąg M., Leń P. Implementation of Unmanned Aerial Vehicles in the Automated Assessment of Geodetic Database Validity. Advances in Science and Technology Research Journal. 2024. Vol. 18, No. 7. Pp. 379–395.

12. 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.

13. Панасюк А., Поліщук Д. Обґрунтування вибору оптимального приладу БПЛА для проведення маркшейдерської зйомки. Технічна інженерія. 2024. № 1(93). С. 420–427.

14. Makedon V., Budko O., Salyga K., Myachin V., Fisunenko N. Improving Strategic Planning and Ensuring the Development of Enterprises Based on Relational Strategies. Theoretical And Practical Research In Economic Fields. 2024. No 15(4). pp. 798-811.

15. Доненко П.П., Оболонков Д.Ф. Використання БПЛА у землекористуванні. Збірник наукових праць ДонНАБА. 2024. № 2(33). С. 4.

16. 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.

17. Ямелинець Т. Інформаційне ґрунтознавство: монографія. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. 352 с.

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor **Dorozhko Yevhen,**
Kharkiv National Automobile and Highway University,
Candidate of Geographical Science, Associate Professor **Sytnyk Oleksii,**
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,
Postgraduate Student **Myroslav Kravchuk,** Lviv Polytechnic National University

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs) FOR HIGH-PRECISION GEODESIC SURVEYING

The article provides a comprehensive analysis of the effectiveness of using unmanned aerial vehicles for precise geodetic surveying, which is becoming increasingly important in modern methods of collecting and processing geospatial data. It is established that the integration of global positioning systems and photogrammetric cameras into the design of these devices allows you to create detailed three-dimensional relief models and thematic maps with high resolution, which have significant practical application in the areas of geodetic support of land cadastres, landscape planning, environmental support and zoning. The article identifies the main differences between classical geodesy methods and modern approaches based on the use of drones, in particular in terms of accuracy, speed of data collection, mobility and costs. It is noted that the autonomy of drones allows you to survey large areas in a short time and minimize the need for the physical presence of operators, which is critically important for working in hard-to-reach areas. It is also noted that the creation of orthophotomaps using UAVs provides a high level of detail and accuracy, exceeding the results that can be obtained using traditional methods. The need to use UAVs to solve the tasks of monitoring the state of land

resources, assessing erosion processes, determining the boundaries of agricultural lands and managing water flows was substantiated. A methodological approach to analyzing the morphometric characteristics of the relief was developed in detail, including assessing slopes, identifying waterlogging zones and determining the directions of water flows, based on data obtained using UAVs. Regular use of UAV technologies for updating cadastral records, monitoring territories and detecting changes in land use is proposed, which allows significantly improving natural resource management and land use planning. It is concluded that the use of UAVs is a cost-effective, technically efficient and promising solution for performing geodetic tasks of varying complexity.

Keywords: unmanned aerial vehicles; high-precision geodetic surveying; digital terrain models; aerial photography; orthophotos; land resources monitoring.

REFERENCES

1. Chabaniuk, V., Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. Cybernetics and Computer Engineering, No. 3(201), 5–32. DOI:10.15407/kvt201.03.005. {in English}

2. 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. {in English}

3. 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}.

4. Makedon, V.V., Valikov, V.P., Fedyora, S.S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya promyslovymy pidpryyemstvamy na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. European vector of economic development, No.1. P. 108–125. DOI: 10.32342/2074-5362-2019-1-26-8. {in Ukrainian}.

5. Baitsar, R., & Telishevskyi, A. (2024). Application of unmanned aerial vehicles in construction industry. *Energy Engineering and Control Systems, 10*(1), 35–42. https://doi.org/10.23939/jeecs2024.01.035. {in English}.

6. Suzuki, T., Takahashi, Y., Amano, Y. (2016). 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. {in English}

7. Fomenko, V. (2024). Tekhnolohii droniv u heodezii: perspektyvy ta vyklyky [Drone technologies in geodesy: prospects and challenges]. Nauka i tekhnika sohodni [Science and Technology Today], (9)37, 918–930. {in Ukrainian}

8. Braslavska, O.V., Dets, T.I., & Rozhi, T. A. (2023). Rol heodezii u rozvytku dron-tekhnolohii dlia vymiriuvannia, kartohrafuvannia ta monitorynhu terytorii [The role of geodesy in the development of drone technologies for measurement, mapping, and monitoring of territories]. Heodeziia ta zemlevporiadkuvannia [Geodesy and Land Management], (5), 268–285. https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285. {in Ukrainian}

9. GIS for Land Administration – Esri. Retrieved from: www.esri.com/industries/cadastre/. {in English}

10. Mohylnyi, S.H., Khainus, D.D., & Vynohradenko, S. O. (2024). Analiz tochnosti kadastrykh zjomok iz zastosuvanniam BPLA [Analysis of the accuracy of cadastral surveys using UAVs]. Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky [Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology], 9(1), 146–151. https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24. {in Ukrainian}

11. Maciąg, K., Maciąg, M., Leń, P. (2024). Implementation of Unmanned Aerial Vehicles in the Automated Assessment of Geodetic Database Validity. Advances in Science and Technology Research Journal, 18(7), 379-395. https://doi.org/10.12913/22998624/192264. {in English}.

12. 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}.

13. Panasiuk, A., & Polishchuk, D. (2024). Obgruntuvannia vyboru optymalnoho pryladu BPLA dlia provedennia marksheiderskoi zjomky [Justification of the choice of the optimal UAV device for conducting mine surveying]. Tekhnichna inzheneriia [Technical Engineering], (1)93, 420–427. {in Ukrainian}

14. Makedon, V., Budko, O., Salyga, K., Myachin, V., & Fisunenko, N. (2024). Improving Strategic Planning and Ensuring the Development of Enterprises Based on Relational Strategies. Theoretical And Practical Research In Economic Fields, 15(4), 798-811. doi:10.14505/tpref.v15.4(32).02. {in English}

15. Donenko, P.P., & Obolonkov, D.F. (2024). Vykorystannia BPLA u zemlekorystuvanni [Use of UAVs in land use]. Zbirnyk naukovykh prats DonNABA [Collection of Scientific Works of DonNABA], (2)33, 4. {in Ukrainian}

16. Sytnyk O., Bezlatnia L. Analiz suchasnykh metodiv i zasobiv dlia obstezhennia ta vykonannia velykomasshtabnoho heodezychnoho znimannia meliorovanykh zemel. Pryrodnychi nauky ta pryrodokorystuvannia. 2024. Vyp. 1. S. 112–113.{in Ukrainian}

17. Yamelynets, T. (2022) Informatsiyne gruntoznavstvo: monohrafiya [Informational soil science: monograph]. Lviv: LNU named after Ivan Franko. {in English}. {in Ukrainian}.