

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування
та інфраструктури
Кафедра економічної експертизи та землевпорядкування

РЯБЧУК Вікторія Володимирівна
Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для
оновлення кадастрової інформації та інвентаризації земель / The
use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to update cadastral information
and land inventory

спеціальність: 193 – Геодезія та землеустрій
освітньо-професійна програма – Експертна оцінка землі та нерухомого майна

Кваліфікаційна робота

Виконала студентка групи ГЕОЗ-42
В. В. Рябчук

Науковий керівник:
д.т.н., професор, І. Л. Перович

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:
" ____ " _____ 20 ____ р.
Завідувач кафедри
_____ **Б. О. Язлюк**

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ ТА КАДАСТРОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	6
1.1. Сутність, класифікація та принципи функціонування безпілотних літальних апаратів	6
1.2. Сфери застосування БПЛА у геодезії та землеустрої	10
1.3. Переваги, обмеження та правові засади використання БПЛА в Україні	14
Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. КАДАСТРОВА ІНФОРМАЦІЯ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ЇЇ ОНОВЛЕННЯ	19
2.1. Сутність і структура кадастрової інформації	19
2.2. Причини та наслідки втрати актуальності кадастрових даних	23
2.3. Традиційні методи оновлення кадастрової інформації та роль БПЛА в цьому процесі	26
Висновки до розділу 2	28
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ КАДАСТРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ	32
3.1. Етапи планування та виконання аерознімання з БПЛА	32
3.2. Обробка матеріалів аерознімання та вимоги до їх якості для потреб кадастру	35
3.3. Практичне застосування БПЛА для оновлення кадастрових даних та інвентаризації земель, проблеми та напрями вдосконалення	42
Висновки до розділу 3	46
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
ДОДАТКИ	63

ВСТУП

Актуальність теми. Земельний кадастр є ключовою системою, від точності якої залежить функціонування земельних відносин і економіки. У ньому фіксуються межі, площі та правовий статус ділянок. Достовірність цих даних визначає роботу ринку землі та управлінські рішення, оскільки всі операції з нерухомістю базуються на кадастровій інформації. Неточності реєстру призводять до конфліктів між власниками, затримок проєктів і втрати контролю над земельними ресурсами.

Загальна площа земельного фонду України становить близько 60 млн га, але значна частина даних сформована на основі застарілих зйомок понад двадцятирічної давності. За цей час ділянки зазнали змін через природні процеси та господарську діяльність, що спричинило розбіжності між реальним станом і кадастром.

Після 2022 року проблема актуальності даних загострилася через воєнні дії. Руйнування інфраструктури, мінування та знищення межових знаків унеможливили або ускладнили традиційні геодезичні роботи. Тахеометрична зйомка в таких умовах є повільною та ризикованою, а результати швидко втрачають актуальність [18].

БПЛА змінюють підхід до збору просторових даних, забезпечуючи швидке отримання суцільного покриття території з високою роздільною здатністю. Подальша автоматизована обробка формує ортофотоплани та цифрові моделі рельєфу, придатні для оновлення кадастрових даних.

Сучасні дрони з RTK-модулями та розвиток програмного забезпечення на кшталт Agisoft Metashape і Pix4Dmapper дозволяють автоматизувати обробку та суттєво скоротити час камерального етапу [60].

Обмеженням залишаються воєнні регуляції, недостатня кваліфікація операторів і відсутність єдиних стандартів точності та форматів даних.

Робота присвячена аналізу застосування БПЛА для оновлення кадастрової інформації в умовах воєнного стану та чинних вимог в Україні.

Мета дослідження – проаналізувати технологічний цикл використання БПЛА для актуалізації кадастрових даних: від класифікації апаратів і правових засад польотів до методики аерознімання, обробки матеріалів і практичної інтеграції результатів у систему Державного земельного кадастру.

Для досягнення зазначеної мети у роботі вирішуються такі **завдання**:

- розкрити сутність, основні типи та принципи функціонування БПЛА стосовно геодезичних і землепорядних робі;
- встановити переваги безпілотних систем над традиційними методами зйомки та визначити їх практичні обмеження;
- дослідити структуру кадастрової інформації та проаналізувати чинники, що призводять до її деградації в умовах антропогенного впливу і воєнних дій;
- охарактеризувати методику планування аерознімання, фотограмметричної обробки даних і підготовки документації для кадастрових потреб;
- оцінити практичну ефективність БПЛА-технологій за показниками часу, вартості та точності на основі досвіду українських землепорядників.

Об'єктом дослідження є процес оновлення кадастрових відомостей у ході виконання геодезичних і землепорядних робіт.

Предмет дослідження виступають технології аерознімання з використанням БПЛА, методи обробки отриманих просторових даних та способи їх подальше включення до кадастрових баз – з акцентом на територіях, де земельний фонд зазнав змін унаслідок бойових дій.

Наукова новизна полягає у комплексному підході до вивчення застосування БПЛА у кадастровій діяльності, що одночасно охоплює три аспекти: технічні характеристики сучасних апаратів і суміжного програмного забезпечення, правові умови використання повітряного простору в період воєнного стану та діючі нормативні вимоги до геодезичних матеріалів в Україні. Це дозволяє оцінити реальну придатність технології для масштабного впровадження у систему державного земельного кадастру.

Практичне значення дослідження. Викладені в роботі підходи орієнтовані на практичне використання фахівцями у сфері землеустрою та геодезії при плануванні і виконанні аерознімальних робіт із метою актуалізації кадастрових даних. Їх застосування дозволяє скоротити час виїзних робіт, зменшити витрати на виконання проекту та забезпечити вищу точність просторових даних порівняно з традиційними методами – особливо там, де безпосередній доступ на місцевість є обмеженим або небезпечним. Крім того, матеріали роботи можуть бути використані при формуванні відомчих інструкцій і технічних завдань у рамках проектів масової інвентаризації земель із залученням безпілотних систем.

РОЗДІЛ 1. БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ ТА КАДАСТРОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

1.1. Сутність, класифікація та принципи функціонування безпілотних літальних апаратів

Безпілотні літальні апарати спочатку розроблялися як засоби дистанційного спостереження, але з часом перейшли у цивільну сферу, зокрема в геодезію та землеустрій. У 2020-х роках вони стали доступними для невеликих організацій завдяки здешевленню компонентів і розвитку програмного забезпечення для обробки аерознімків.

Сьогодні БПЛА охоплюють широкий клас апаратів без пілота на борту. Керування здійснюється оператором або автопілотом за заданим маршрутом. У кадастровій практиці їх використовують для аерознімання та отримання просторових даних, що значно скорочує обсяг польових робіт і час оновлення інформації.

За конструкцією БПЛА поділяються на мультироторні, літакового типу та конвертоплани (рис. 1.1). Кожен тип має свої переваги та обмеження, які визначають сферу застосування. Їх порівняння подано у вигляді таблиці 1.1.

Мультироторні апарати відзначаються високою маневреністю. Вони можуть злітати вертикально, працювати в обмеженому просторі та утримувати стабільну позицію в повітрі. До них належать квадро-, гекса- та октокоптери. Водночас через високе енергоспоживання їхній час польоту зазвичай не перевищує 40 хвилин, що робить їх придатними переважно для зйомки невеликих територій [24].

Для великих територій у сотні гектарів мультироторні БПЛА малоефективні через обмежений час польоту та необхідність частих запусків. У таких умовах перевагу мають апарати літакового типу, які завдяки аеродинамічній підйомній силі споживають менше енергії та здатні працювати понад годину. Один виліт дозволяє охоплювати значні площі, інколи до

десятків квадратних кілометрів, за умови наявності придатної злітно посадкової зони.

Обидві ці категорії мають власні обмеження. Мультироторні системи мають малу дальність, а літакові потребують спеціальних умов для старту і посадки. Конвертоплани поєднують переваги обох типів, забезпечуючи вертикальний зліт і тривалий політ, але є дорогими та складнішими в експлуатації.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд основних типів БПЛА

Таблиця 1.1

**Порівняння типів БПЛА за конструкцією та придатністю для
кадастрових робіт**

Характеристика	Мультироторні	Літакового типу	Гібридні
Принцип підйому	Кілька вертикальних гвинтів	Аеродинамічна підйомна сила	Комбінований
Час польоту	15-40 хв	45-120 хв	45-90 хв
Радіус дії	1-5 км	10-50+ км	10-30 км
Зліт/посадка	Вертикальні	Потрібна злітна смуга	Вертикальні
Маневренність	Висока	Низька	Середня
Вартість	Низька-середня	Середня	Висока
Типові завдання	Детальна зйомка ділянок	Зйомка великих площ	Комбіновані місії

Паралельно з конструктивною класифікацією БПЛА поділяють за злітною масою, що визначає правила експлуатації та рівень регуляторного контролю. Ця класифікація наведена у таблиці 1.2. Виділяють чотири категорії: мікро до 2 кг, малі 2–25 кг, середні 25–150 кг і важкі понад 150 кг. У геодезії та кадастрі переважають мікро та малі апарати, оскільки вони простіші в роботі, доступніші за вартістю і зазвичай відповідають чинним вимогам дозволів.

Таблиця 1.2

Класифікація БПЛА за злітною масою та призначенням

Клас	Злітна маса	Типова висота	Застосування у землеустрої
Мікро	До 2 кг	До 120 м	Зйомка малих ділянок, інспекція
Малий	2-25 кг	До 500 м	Кадастрова зйомка, ортофотоплани
Середній	25-150 кг	До 3000 м	Великомасштабні зйомки, спецзавдання
Важкий	Понад 150 кг	Понад 3000 м	Промислові та військові місії

Геодезична придатність БПЛА визначається не лише характеристиками платформи, а й складом обладнання та якістю навігації. Технічні характеристики основних типів БПЛА наведені у таблиці 1.3. Для кадастрових робіт важливі просторова роздільна здатність знімків, точність координатної прив'язки та площа покриття за один виліт.

Сучасні геодезичні БПЛА зазвичай використовують RGB камери з роздільною здатністю 2–5 см на піксель при польоті на висоті 100–120 м. Мультиспектральні камери дозволяють аналізувати стан рослинності та уточнювати межі ділянок за спектральними характеристиками. LiDAR сенсори формують щільні хмари точок незалежно від рослинного покриву і особливо ефективні на заліснених територіях [28].

Координатна точність залежить від типу навігаційної системи. Звичайні GNSS модулі дають похибку 1–3 м, що неприйнятно для кадастру. Використання RTK або PPK корекції підвищує точність до 2–5 см у плані та 3–8 см по висоті, що дозволяє мінімізувати або повністю відмовитися від

наземних контрольних точок. Такі значення відповідають вимогам кадастрових робіт в Україні.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики основних типів сенсорів БПЛА

Тип сенсора	Роздільна здатність/точність	Переваги	Обмеження
RGB-камера	2-5 см/піксель	Доступна вартість, деталізація	Не працює крізь рослинність
Мультиспектральна	5-10 см/піксель	Аналіз стану ґрунтів та угідь	Потребує калібрування
LiDAR	Точність 5-15 см	Зйомка під кронами дерев	Висока вартість
RTK/PPK GNSS	2-5 см планова	Висока координатна точність	Потребує базової станції або покриття

Робота геодезичного БПЛА включає чотири основні етапи: планування маршруту, виконання польоту, збір даних і їх обробку (рис. 1.2). На підготовчій стадії задають висоту польоту, перекриття знімків у межах 70–80% уздовж маршруту і 60–70% поперек, а також обирають систему координат. Ці налаштування впливають на точність результату і тривалість обробки.

Під час польоту дрон працює в автоматичному режимі, виконуючи зйомку з фіксацією GNSS координат кожного кадру. Після посадки дані обробляють у програмних середовищах типу Agisoft Metashape, Pix4D або DJI Terra, де формується ортофотоплан, цифрова модель рельєфу та хмара точок. Далі ці матеріали використовують для вимірювань, визначення меж і підготовки кадастрової документації [50].

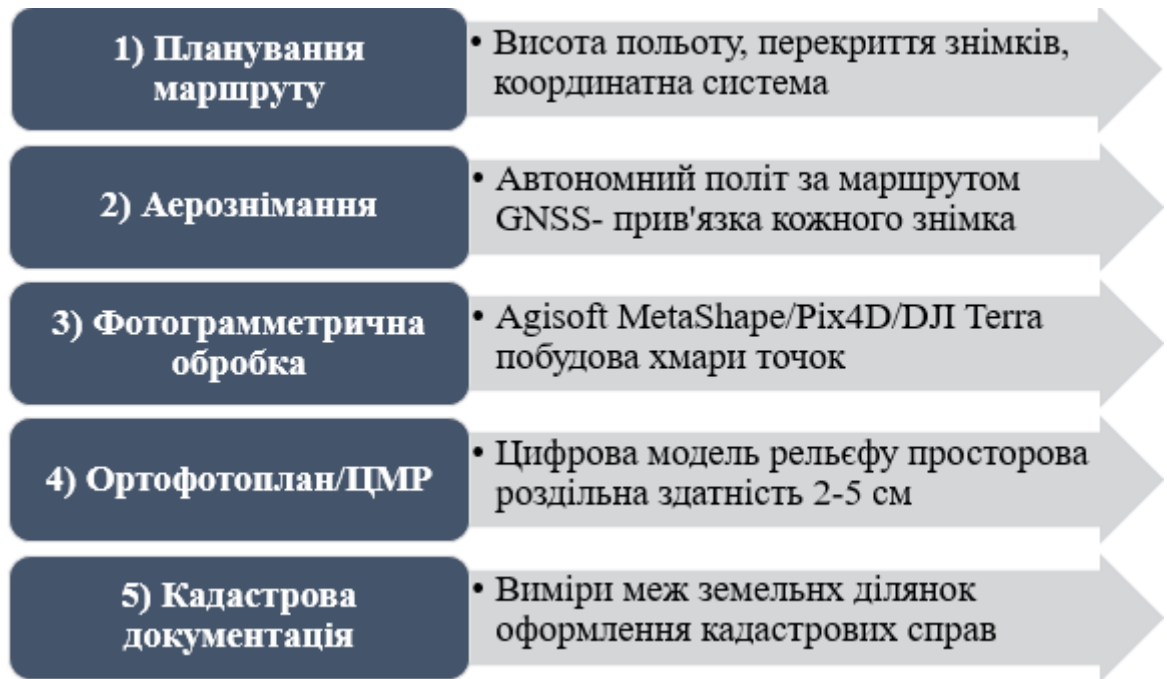


Рис. 1.2. Технологічна схема збору та обробки геопросторових даних за допомогою БПЛА

Вибір БПЛА для геодезичних робіт – це не завжди компроміс. Мультироторні моделі підходять для складних і обмежених територій, але мають малу дальність. Літакові ефективні на великих площах, проте потребують умов для зльоту і посадки. Гібридні поєднують обидві властивості, але складніші й дорожчі.

Точність залежить від навігації: базові GNSS дають грубий результат, RTK забезпечує сантиметрову прив'язку. Вибір сенсорів також визначається умовами зйомки: RGB достатньо для більшості ділянок, LiDAR і мультиспектр потрібні для лісу або складного рельєфу. У підсумку підбирають не окремий дрон, а конфігурацію під конкретне завдання [8].

1.2. Сфери застосування БПЛА у геодезії та землеустрої

Технічні можливості БПЛА стають практичними лише тоді, коли відповідають завданням геодезії та землеустрою. Тут вони застосовуються для створення топографічних матеріалів, оновлення кадастру та уточнення меж

ділянок. Ключова вимога залишається незмінною — актуальність і точність даних, яку забезпечують лише правильно підібрані системи.

Використання БПЛА розвивалося поступово: від роботи у складних або небезпечних умовах до основного інструмента збору просторової інформації. Сьогодні вони застосовуються майже у всіх напрямках геодезії, а роль залежить від точності завдання та умов об'єкта [14].

Основні сфери включають топографічну зйомку, кадастрове межування, моніторинг територій і контроль інфраструктури (рис. 1.3). Найбільший обсяг робіт припадає на топографію та кадастр, де потрібне постійне оновлення даних. Кожен напрям визначає власні вимоги до типу БПЛА, сенсорів і точності [6; 9].



Рис. 1.3. Основні сфери застосування БПЛА у геодезії та землеустрої

Серед усіх напрямів використання БПЛА топографічна зйомка є найбільш відпрацьованою з технічної точки зору. Порівняння методів кадастрової зйомки наведено в таблиці 1.4. Політ виконується за заданим маршрутом із фіксованим інтервалом знімання, після чого дані обробляються фотограмметричними методами. За наявності РТК-навігації результати відповідають вимогам великомасштабного картографування.

Ключова перевага технології полягає у продуктивності. Ділянка 50–100 га, на яку наземна бригада витрачає кілька днів, може бути знята за один виліт тривалістю близько години. На складному рельєфі різниця стає ще більш помітною, оскільки переміщення геодезичної групи займає значну частину часу, тоді як для БПЛА рельєф не створює таких обмежень. На рівнинних територіях процес стабільний, а у гірських районах маршрут формують з урахуванням цифрової моделі рельєфу, що дозволяє підтримувати задану висоту польоту.

У кадастровій практиці БПЛА використовують для двох основних задач: формування нових ділянок і оновлення вже існуючих даних. Перший випадок характерний для масових інвентаризацій, другий виникає там, де кадастрова інформація втратила актуальність або була пошкоджена [30].

Точність результатів визначається способом прив'язки. RTK і РРК дозволяють досягати похибки 2–5 см у плані, що відповідає нормативним вимогам для кадастрових робіт. Додатково БПЛА застосовують для виявлення змін меж через природні процеси, де порівняння знімків у часі дає змогу фіксувати реальні зміщення і обґрунтовувати коригування кадастрових даних.

Таблиця 1.4

Порівняння методів кадастрової зйомки за ключовими показниками

Показник	Наземна зйомка (тахеометр + GNSS)	БПЛА без RTK	БПЛА з RTK/РРК
Точність у плані	1-3 см	1-3 м	2-5 см
Продуктивність	1-5 га/день	50-200 га/виліт	50-200 га/виліт
Потреба в наземних точках	Висока	Висока	Мінімальна
Складні рельєфи	Трудомістко	Прийнятно	Прийнятно
Вартість зйомки	Середня	Низька-середня	Середня
Придатність для кадастру	Повна	Обмежена	Повна

Сільськогосподарський землеустрій потребує постійного моніторингу ґрунтів, посівів і меж. БПЛА з мультиспектральними камерами дають змогу

отримувати NDVI і GNDVI, виявляти деградацію, перезволоження та засолення на ранніх стадіях. Також їх використовують для уточнення меж угідь і зміни категорії земель.

Інвентаризація земель включає виявлення самовільного використання територій і невідповідностей між фактичним станом і кадастровими даними. Ортофотоплани забезпечують швидке зіставлення інформації та фіксацію змін [44].

Лінійні об'єкти обстежують шляхом польоту вздовж траси з формуванням безперервних даних. Це дає змогу оцінювати стан інфраструктури без залучення наземних бригад.

Порівняння даних у часі використовується для контролю обсягів змін рельєфу, кар'єрів і рекультивації, а також для виявлення деформацій інженерних споруд, а також наведено у таблиці 1.5 [1].

Таблиця 1.5

Сфери застосування БПЛА у геодезії та землеустрої за типом об'єкта

Тип об'єкта	Застосування у геодезії	Застосування у землеустрої	Основний тип БПЛА
Площинні (поля, угіддя)	Топографічна зйомка, ЦМР	Інвентаризація, паювання, межування	Мультироторний/ дрон літакового типу
Лінійні (дороги, канали)	Зйомка траси, контроль ухилів	Межі вздовж коридорів, лісосмути	Дрон літакового типу/ гібридного типу
Об'ємні (кар'єри, котловани)	Контроль обсягів, 3D-модель	Рекультивація під угіддя	Мультироторний
Водні (ставки, річки)	Берегова зйомка, промір	Паспортизація водних об'єктів	Мультироторний
Забудовані (населені пункти)	Планово-висотна зйомка	Фіксація самочинного будівництва	Мультироторний
Залісені ділянки	LiDAR-зйомка під кронами	Виявлення меж лісових угідь	Мультироторний + LiDAR

Розглянуті напрями охоплюють практично весь спектр завдань, пов'язаних зі збором і актуалізацією просторових даних у геодезії та землеустрої. Жоден традиційний метод не забезпечує одночасно широкого охоплення площ і деталізації, характерної для наземних вимірювань. Вибір конкретного застосування завжди визначається трьома чинниками: характером об'єкта, вимогами до точності і доступністю майданчика. Для топографічної зйомки великих територій зазвичай застосовують БПЛА літакового типу. Кадастрові роботи на окремих ділянках виконують переважно мультироторними дронами з RTK. Для обстеження лінійних об'єктів використовують гібридні або літакового типу апарати [3].

1.3. Переваги, обмеження та правові засади використання БПЛА в Україні

Аналіз застосування БПЛА показує, що технологія вже стала робочим інструментом у геодезії та землеустрої, однак рішення про її використання завжди залежить від умов задачі. Враховують технічні можливості системи, вимоги до точності та чинні правила виконання польотів, це показано у таблиці 1.6. У більшості випадків універсального сценарію немає [10].

Правове регулювання в Україні суттєво впливає на практичне застосування. Воєнний стан обмежив використання повітряного простору, тому кожна зйомка залежить від дозволів і поточних обмежень. Цей фактор часто визначає не менше, ніж технічні характеристики обладнання.

Перевага БПЛА полягає у поєднанні великого охоплення території та високої деталізації. З висоти 100–120 м отримують ортофотоплани з роздільною здатністю 2–5 см/піксель, що недосяжно для супутникових знімків і значно ефективніше за наземні методи. Важливою є також продуктивність. Регулярне оновлення кадастрових даних виконується швидше і дешевше, що робить технологію практично стандартом для великих масивів земель. Додатковою перевагою є безпека, оскільки зйомка небезпечних або важкодоступних територій виконується без присутності людей на місці.

БПЛА також дозволяють виконувати повторні зйомки для аналізу змін рельєфу, меж і обсягів робіт. Це створює основу для моніторингу, який традиційними методами реалізується значно складніше і дорожче.

Серед обмежень ключову роль відіграють погодні умови. Вітер, туман і слабе освітлення знижують якість даних, а при сильних поривах стабільність польоту і точність моделі погіршуються [33]. Ще одним фактором є рослинність, яка ускладнює отримання даних про поверхню ґрунту при використанні RGB-камер. У таких умовах ефективнішим є LiDAR, але він дорожчий.

Обмежений час польоту мультироторних систем впливає на організацію великих зйомок і вимагає або кількох запусків, або використання літакових платформ. Додатково варто враховувати складність обробки даних, яка потребує потужного обладнання і кваліфікованого персоналу. Помилки на етапі фотограмметрії можуть знизити точність навіть якісно зібраного матеріалу, що підкреслює важливість досвіду оператора і правильного налаштування процесу [45].

Таблиця 1.6

**Переваги та обмеження БПЛА порівняно з традиційними методами
геодезичної зйомки**

Критерій	БПЛА (з RTK)	Тахеометр + GNSS	Пілотована авіазйомка
1	2	3	4
Просторова роздільна здатність	2-5 см/піксель	Точкові виміри	5-30 см/піксель
Продуктивність	50-200 га/виліт	1-5 га/день	500+ га/виліт
Точність у плані	2-5 см (RTK)	1-3 см	10-30 см
Метеозалежність	Висока	Середня	Висока
Вартість обладнання	Середня	Середня	Дуже висока
Складна місцевість	Прийнятно	Трудомістко	Прийнятно

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4
Рослинний покрив	Обмежено (RGB)	Прийнятно	Обмежено
Потреба у працівниках	1-2 особи	2-4 особи	3-6 осіб

Правове регулювання БПЛА в Україні базується на Повітряному кодексі, який визначає статус безпілотних повітряних суден і загальні правила використання повітряного простору. Детальні вимоги закріплені в Авіаційних правилах України, зокрема в документі щодо використання повітряного простору № 430/210 від 11.05.2018 [61]. Основні правові вимоги до використання БПЛА наведені у таблиці 1.7.

Апаратами масою до 20 кг дозволено виконувати польоти без окремих заявок за умови дотримання базових обмежень. Йдеться про польоти в межах видимості, до 120 м по висоті, з віддаленням не менше 5 км від аеродромів і поза зонами підвищеної небезпеки. Для важчих систем або складних умов потрібне окреме погодження з авіаційними службами.

З початку воєнного стану у 2022 році цивільні польоти суттєво обмежені, а доступ до повітряного простору регулюється рішеннями військового командування. Це фактично звузило можливості застосування БПЛА в геодезії на більшій частині території країни. Водночас прийняття законодавчих змін, зокрема №8185 і №8186, вказує на поступову формалізацію правил використання безпілотників [67].

У подальшому очікується розширення цивільного застосування після стабілізації ситуації. Законопроект №13600 передбачає реєстрацію легких БПЛА, посилення відповідальності за порушення правил польотів і адаптацію українського регулювання до європейських стандартів.

Таблиця 1.7

Основні правові вимоги до використання БПЛА в Україні (цивільне застосування)

Параметр	Апарати до 20 кг	Апарати понад 20 кг
Реєстрація	Не потрібна (розваги/спорт)	Обов'язкова в Держреєстрі
Дозвіл на політ	Не потрібен (за умов дотримання правил)	Погодження з УкСАТСЕ
Максимальна висота	120 м (50 м у СТР)	За окремим дозволом
Відстань від аеродрому	≥ 5 км	≥ 5 км + дозвіл
Польоти над людьми	Заборонено	Заборонено
Статус під час воєнного стану	Польоти заборонені без дозволу ГШ ЗСУ	Польоти заборонені без дозволу ГШ ЗСУ

БПЛА в геодезії та землеустрої є інструментом із підтвердженою ефективністю, але з чітко визначеними межами застосування. Висока продуктивність і деталізація роблять їх базовим рішенням для оновлення кадастрових даних, зйомки складних територій і моніторингу земель. Водночас погодні умови, обмеження часу польоту та складність обробки даних визначають рамки їх використання і враховуються ще на етапі планування.

Правове регулювання в Україні зараз є ключовим обмежувальним фактором. Воно визначає можливість виконання польотів і фактично впливає на масштаб застосування технології. Після завершення воєнного стану очікується перехід до більш стабільної та гармонізованої з європейською системи регулювання, що розширить практичне використання БПЛА у кадастрових роботах [15].

Висновки до розділу 1

Перший розділ охоплює три взаємопов'язані блоки: технічні можливості БПЛА, сфери їх застосування та правові умови використання в Україні. Окремо

кожен із них дає часткове уявлення, але практична картина формується лише в поєднанні. Технічно досконала система без урахування регуляторних вимог не може бути використана, а знання сфер застосування без розуміння технічних параметрів не дає робочого результату.

Класифікація та принципи роботи показують, що сучасні БПЛА фактично виконують роль вимірювальних систем. Тип конструкції визначає тривалість і масштаб роботи, але ключове значення мають сенсори та навігація. RGB-камери забезпечують 2–5 см/піксель, LiDAR дозволяє працювати навіть у складних умовах рослинності, а RTK і PPK дають точність 2–5 см, достатню для кадастру [40].

Універсальної платформи не існує. Мультироторні системи підходять для точних і локальних зйомок, літакові для великих площ, конвертоплани поєднують обидва підходи, але складніші та дорожчі. Вибір завжди залежить від задачі та умов роботи. Сфери застосування охоплюють топографічну зйомку, кадастрове межування, моніторинг земель, обстеження інфраструктури та контроль земляних робіт. Найширше БПЛА використовуються саме в топографії та кадастрі, де критично важливі швидкість і актуальність даних.

Кадастрова зйомка є найбільш практично відпрацьованим напрямом. RTK і PPK забезпечують точність, достатню для визначення меж ділянок, а продуктивність 50–200 га за виліт дає перевагу над класичними методами [62]. Серед обмежень основними є погодні умови, тривалість польоту та складність обробки даних. Найбільший вплив на точність мають вітер і освітлення. У зонах із щільною рослинністю RGB-зйомка має обмежену ефективність, тому застосовують LiDAR.

Правове регулювання в Україні залишається змінним. Під час воєнного стану польоти обмежені та потребують погодження з військовими структурами. Водночас нові законопроекти №8185, №8186 і №13600 формують основу для більш структурованого регулювання в майбутньому.

РОЗДІЛ 2. КАДАСТРОВА ІНФОРМАЦІЯ ТА НЕОБХІДНІСТЬ ЇЇ ОНОВЛЕННЯ

2.1. Сутність і структура кадастрової інформації

Державний земельний кадастр є ключовою інформаційною системою управління земельними ресурсами України. Закон «Про Державний земельний кадастр» визначає його як єдину державну геоінформаційну базу даних про землі, їх цільове призначення, обмеження у використанні, якісні та кількісні характеристики, а також про власників і користувачів.

Його структура поєднує правову та просторову складові (рис. 2.1). З одного боку, це реєстр юридичних відомостей про земельні відносини, з іншого інструмент роботи з координатами, площами та просторовими зв'язками об'єктів. Така подвійна природа визначає роль ДЗК як основи для прийняття управлінських і кадастрових рішень [2].

Сучасна цифрова структура Державного земельного кадастру формувалася поетапно. Перехід до єдиної електронної системи відбувся після набуття чинності профільного закону у 2013 році, коли стала обов'язковою реєстрація земельних ділянок із присвоєнням кадастрових номерів. У подальші роки система розширювалася за рахунок нових типів даних, електронної взаємодії між реєстрами та розвитку публічного доступу через кадастрову карту. Попри поступову цифровізацію, наповнення ДЗК залишається неповним. Частина земельних ділянок була внесена до системи вже після первинного формування реєстру, що створює різницю між фактичним станом земель і наявними записами. Офіційна статистика свідчить про значний обсяг оцифрованих об'єктів, однак процес досі не завершений, тому якість кадастрової інформації залежить від повноти та точності перенесення первинних даних у цифровий формат [37].

Кадастрова інформація в ДЗК організована у чотири взаємопов'язані блоки, які разом формують повний опис земельної ділянки як правового та просторового об'єкта. (рис. 2.1.)

Ідентифікаційний блок забезпечує унікальність ділянки в системі. Його основою є кадастровий номер 19-значного формату «XX:XX:XXX:XXXX», який кодує адміністративну прив'язку та порядковий номер об'єкта. Додатково включаються адреса та категорія земель. Кадастровий номер не змінюється протягом усього життєвого циклу ділянки, що забезпечує стабільність обліку.

Атрибутивний блок містить правові та функціональні характеристики. До нього належать цільове призначення, площа, відомості про власника або користувача, а також обмеження і обтяження у використанні. Ця частина визначає юридичний статус ділянки і використовується для планування, оподаткування та оцінки земель, зокрема нормативної грошової оцінки, яка ґрунтується на затверджених методиках і кадастрових даних [19].

Просторовий блок визначає геометрію земельної ділянки через координати її меж у системі УСК-2000, опис контуру та кадастровий план. Ця складова забезпечує просторову природу кадастру, дозволяючи відображати ділянки на карті, виявляти накладання та проводити топологічний аналіз. Перехід на УСК-2000 як єдину систему координат підвищив точність просторових даних і усунув проблеми сумісності, характерні для попередніх систем СК-42 і СК-63.

Технічний блок містить метадані про кадастровий запис. Він включає дату реєстрації, джерело даних і статус об'єкта. Такі відомості дозволяють відстежувати актуальність інформації, контролювати її походження та перевіряти достовірність у разі виникнення спірних ситуацій [51].



Рис. 2.1. Структура кадастрової інформації в системі ДЗК України

Згідно зі статтею 3 Закону «Про Державний земельний кадастр» система працює на основі принципів обов'язковості внесення даних, єдиної методології, об'єктивності, повноти, безперервного оновлення та відкритості інформації.

Реалізація цих вимог залежить від узгодженої взаємодії між кадастровими реєстраторами, виконавцями землевпорядної документації та технічними операторами системи. Порушення хоча б одного принципу призводить до накопичення неточностей, що знижує якість даних і ускладнює їх використання як у правових процедурах, так і в просторовому аналізі [55].

Принцип відкритості реалізується через Публічну кадастрову карту, яка надає доступ до базових характеристик земельних ділянок, зокрема кадастрового номера, меж, площі, форми власності та цільового призначення. Це підвищило прозорість земельних відносин і спростило роботу фахівців у сфері землеустрою, оцінки та нотаріальних дій. Повні витяги з ДЗК із розширеним набором даних надаються через офіційні електронні сервіси з обмеженим доступом.

Якість кадастрової інформації визначається точністю просторових даних, повнотою атрибутів і своєчасністю оновлення. Для просторового блоку критичним параметром є точність визначення меж, де допустимі похибки регламентуються нормативами і залежать від категорії земель. Реальна точність значною мірою визначається застосованою технологією зйомки, включно з тахеометрією, GNSS або методами дистанційного зондування [35].

Джерелом похибок у кадастрі є перенесення даних із паперових матеріалів до цифрової системи без повторної геодезичної перевірки. Через це виникли розбіжності між суміжними ділянками, які накопичуються в реєстрі й потребують окремого виявлення та виправлення. Для контролю якості геопросторових даних використовується підхід, наближений до ISO 19157, що дозволяє оцінювати повноту, топологічну узгодженість і точність інформації.

Другою проблемою є неповні або некоректні атрибути ділянок. Частина обмежень у використанні земель, зокрема охоронні зони чи водоохоронні смуги, не відображена в ДЗК або внесена з помилками. Це створює розрив між фактичним режимом використання територій і кадастровими даними та ускладнює прийняття рішень щодо забудови або зміни цільового призначення [48].

Воєнний стан суттєво вплинув на повноту та доступність кадастрових даних. Частина інформації щодо прифронтових і тимчасово окупованих територій є неповною або потребує уточнення. Водночас зміни в законодавстві дозволили адаптувати реєстраційні процедури, зокрема щодо відновлення документів, оренди земель і дистанційної роботи реєстраторів.

Сучасний ДЗК працює як елемент ширшої геоінформаційної інфраструктури та взаємодіє з іншими державними реєстрами, зокрема Реєстром речових прав, адресним реєстром і містобудівним кадастром. Це перетворює його на базу даних, що використовується не лише для фіксації прав, а й для планування територій та управлінських рішень.

Кадастрова карта є просторовим шаром геоінформаційної системи, який відповідає стандартам відкритих геоданих і може інтегруватися з ГІС-

платформами на кшталт ArcGIS і QGIS. Це дозволяє аналізувати взаємозв'язки між земельними ділянками та інфраструктурними об'єктами. Подальший розвиток системи пов'язують із впровадженням тривимірного кадастру для обліку не лише землі, а й надземних і підземних об'єктів у межах єдиної просторової моделі.

Кадастрова інформація в системі ДЗК України являє собою структурований масив відомостей, організований у чотири взаємопов'язані блоки: ідентифікаційний, атрибутивний, просторовий і технічний. Кожен блок виконує самостійну функцію: від унікальної ідентифікації геометрії в системі координат УСК-2000 до правових обтяжень [49].

Рівень якості кадастрових даних залежить від точності вихідних вимірювань, повноти атрибутивного та регулярності оновлення інформації. Саме ці три аспекти визначають проблематику подальшого дослідження, пов'язану з необхідністю системного оновлення кадастру та потенціалом використання сучасних безпілотних технологій для підвищення достовірності даних.

2.2. Причини та наслідки втрати актуальності кадастрових даних

Актуальність кадастрових даних визначається не тільки точністю первинних вимірювань, а й швидкістю змін на місцевості. Межі ділянок змінюються під дією природних процесів, господарської діяльності та воєнних факторів, що поступово формує розбіжності між реальним станом і записами в ДЗК.

Причини старіння кадастрової інформації можна об'єднати у чотири групи: природні, господарські, воєнні та системно-технічні. Кожна з них по-різному впливає на точність даних і потребує окремих підходів до оновлення та наведена в таблиці 2.1.

Найбільш помітні природні зміни пов'язані з ерозією, зміщенням русел річок і зсувами ґрунтів. У таких умовах межі ділянок, зафіксовані кілька років

тому, можуть відхилятися від фактичного положення на десятки метрів, що робить їх непридатними для використання без повторної зйомки [17].

Господарські зміни часто проявляються у вигляді самовільного переорювання або зміщення межових знаків, що виявляється лише під час повторних геодезичних зйомок і нерідко стає предметом спорів. Будівництво доріг, енергетичних об'єктів і ЛЕП формує охоронні зони, але їх внесення до кадастру часто затримується, що створює розбіжності між фактичним і документальним станом територій.

Вирубка лісосмуг і розширення міської забудови додатково ускладнюють ідентифікацію меж, оскільки зникають природні орієнтири, а огорожі не збігаються з кадастровими даними. У зонах бойових дій ситуацію ускладнюють руйнування рельєфу, забруднення ґрунтів і мінування територій, що робить польові вимірювання неможливими та призводить до втрати актуальності значної частини просторової інформації [16].

У 2022–2023 роках частина центрів надання адмінпослуг у прифронтових регіонах була зруйнована, а DDoS-атаки тимчасово обмежували доступ до реєстрів. На окупованих територіях формувалися альтернативні бази даних, що створює ризик дублювання записів після відновлення контролю. Перенесення інформації у хмарні сховища зберегло основні масиви даних, але не вирішило проблему перевірки просторової точності в регіонах без актуальних зйомок.

Системні похибки також накопичились через використання різних систем координат без єдиної основи. Під час цифровізації старих матеріалів це призвело до накладань і розривів контурів у ДЗК. Частина ділянок досі не внесена до реєстру, а технічні помилки при обміні даними викликають появу неповних або дубльованих записів, що потребує ручного виправлення.

Таблиця 2.1

Класифікація чинників втрати актуальності кадастрових даних та їх наслідки

Група чинників	Механізм впливу	Тип наслідку	Можливість дистанційного виявлення
Природні (екзогенні)	Водна ерозія, зсуви, зміна русел	Геометричні похибки	Висока (БПЛА, супутникові знімки)
Суб'єктивні	Порушення меж, інфраструктурне будівництво, урбанізація	Юридичні спори, подвійні межі	Висока (порівняння ортофотопланів)
Воєнні	Знищення архівів, мінування, деформація ґрунту	Втрата/недоступність даних	Часткова (безпечне дистанційне зондування)
Системні (адмін.-техн.)	Старі СК, помилки XML, дублювання номерів	Технічні блокування операцій	Низька (потребує ручного виправлення)

У прифронтових регіонах активність земельного ринку знизилась до 90% від довоєнного рівня, а його відновлення напряму залежить від якості кадастрових даних. Фінансові установи та нотаріуси працюють з підвищеними ризиками через застарілі або спірні межі ділянок, частина з яких має попередню точність. Законодавство передбачає обов'язкове уточнення таких даних після завершення воєнного стану [22].

Актуальність кадастрових даних знижується під впливом кількох груп чинників. Природні процеси змінюють території поступово, господарська діяльність часто фіксується із затримками, воєнні дії одночасно пошкоджують землі та ускладнюють роботу системи обліку. Додатково зберігаються помилки переходу до цифрового кадастру. Ці фактори потребують різних підходів до оновлення даних і показують обмеженість разових перевірок. Натомість необхідний регулярний моніторинг великих територій у стислі строки, зокрема там, де доступ наземними методами ускладнений, що підводить до застосування сучасних дистанційних технологій.

2.3. Традиційні методи оновлення кадастрової інформації та роль БПЛА у цьому процесі

Кадастрові дані мають юридичну силу лише за умови відповідності фактичному стану земель. Затримка між первинною реєстрацією та оновленням може становити від кількох місяців до десятиліть, що напряду впливає на точність бази. Вартість і тривалість актуалізації залежать від методу зйомки: класичної геодезичної або БПЛА, які мають різні сфери ефективності.

Процедура регулюється Законом «Про Державний земельний кадастр» і виконується за ініціативою власника або орендаря через ЦНАП чи нотаріуса. Ключову роль виконує сертифікований інженер-землевпорядник, відповідальний за документацію [5].

Класична методика включає підготовку, польові вимірювання, камеральну обробку та погодження, які наведені у таблиці 2.3. Польовий етап займає 3–4 дні на 50–100 га, камеральний ще 2–3 дні, а погодження може тривати від двох тижнів до кількох місяців. Загальний строк оновлення становить приблизно 3 тижні – 2 місяці [23; 25].

Таблиця 2.3

Аналіз етапів і обмежень традиційного методу оновлення кадастрових даних

Етап	Інструментарій	Орієнтовна тривалість	Основні ризики та обмеження
1	2	3	4
Підготовчий	Документація ДЗК, аналіз суперечностей	1-2 дні	Неможливість Оцінити загальну ситуацію на великих масивах без виїзду
Польова зйомка	Тахеометр, GNSS RTK	3-4 дні	Складність роботи у залісненій або заболоченій місцевості; фізичний ризик у мінованих зонах

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4
Камеральна обробка	Digitals, AutoCAD	2-3 дні	Людський фактор при оцифруванні абрисів; помилки у XML-файлі
Погодження меж	Паперовий акт, збір підписів суміжників	14-60 і більше днів	Суб'єктивні конфлікти між власниками; ускладнений пошук суміжників
Затвердження	Держгеокадастр	5-14 днів	Ризик відмови через помилки в описі суміжних ділянок

БПЛА дозволяє отримати суцільне покриття території 50–200 га за один політ із роздільністю 3–5 см/піксель. Подальша обробка в Agisoft Metashape або Pix4D формує ортофотоплан, хмару точок і цифрову модель поверхні, що значно перевищує інформативність точкових вимірювань.

За RTK/PPK і наземними контрольними точками точність становить 2–3 см у плані та 3–6 см по висоті. Порівняльні дослідження показують нижчі значення RMSE для БПЛА порівняно з тахеометрією, а польові роботи скорочуються на 45–60% при зменшенні витрат на 40–50% [57].

Ортофотоплани прискорюють погодження меж, оскільки дозволяють наочно фіксувати розбіжності. Геодезисти виїжджають лише для уточнення проблемних ділянок, що зменшує обсяг польових робіт і підвищує точність узгодження.

Основні обмеження пов'язані з рослинним покривом, погодними умовами та регуляторними вимогами. У складних умовах застосовується LiDAR або комбіновані рішення, а фінальні матеріали все одно підтверджуються сертифікованим фахівцем. Гібридний підхід забезпечує скорочення часу робіт без втрати точності та є більш придатним для масового оновлення кадастру [66].

Висновки до розділу 2

Другий розділ дипломної роботи присвячений комплексному дослідженню кадастрової інформації в Україні: від її структурної організації та принципів ведення до причин деградації просторових даних і технологій їх оновлення. Три підрозділи розкривають проблематику послідовно, від теоретичних засад до прикладних рішень, і в сукупності формують цілісну аналітичну картину стану земельно-кадастрової системи на сучасному етапі (рис. 2.3).

Аналіз кадастрових відомостей Державного земельного кадастру показав, що система побудована з чотирьох основних блоків. Ідентифікаційний містить кадастровий номер, атрибутивний описує площу, цільове призначення та обмеження, просторовий фіксує межі в системі УСК-2000, а технічний зберігає службові дані. Усі блоки взаємопов'язані, тому помилки в одному з них впливають на інші кадастрові операції. Станом на кінець 2024 року в кадастрі зареєстровано понад 25,6 млн ділянок, однак частина земель досі не охоплена повноцінним обліком [69].

Практика використання Державного земельного кадастру підтверджує його ключове значення для нотаріального оформлення угод, кредитування під заставу землі, містобудівного планування та нормативної грошової оцінки. ДЗК взаємодіє з Реєстром речових прав, адресним реєстром і містобудівним кадастром, тому будь-які неточності або застарілі дані впливають не лише на реєстраційні дії, а й на пов'язані адміністративні процеси.

Другий підрозділ показав основні причини втрати актуальності кадастрових даних. Природні процеси, зокрема ерозія, зсуви та зміна русел річок, поступово змінюють межі земель. Господарська діяльність спричиняє самовільне зміщення меж, забудову та невчасне внесення змін до ДЗК. Частина помилок пов'язана зі старими системами координат періоду приватизації 2000-х років, що призвело до накладок між ділянками. Найбільший вплив має воєнний фактор, який одночасно пошкоджує земельні угіддя та ускладнює роботу кадастрової системи в зонах бойових дій.

Окрему увагу приділено впливу повномасштабної війни на кадастрову систему. Мінування сільськогосподарських земель ускладнює проведення наземних геодезичних робіт, а створення окупаційних реєстрів формує ризик подвійної реєстрації ділянок. Руйнування адміністративної інфраструктури та кібератаки на ресурси Держгеокадастру у 2022 році тимчасово обмежили доступ до частини даних. У постраждалих регіонах земельний ринок різко втратив активність, а його відновлення напряму залежить від достовірності кадастрової інформації [42].

Традиційна геодезична методика залишається обов'язковою, але для великих обсягів оновлення кадастрових даних вона малоефективна. Повний цикл робіт для ділянок 50–100 га триває від кількох тижнів до двох місяців, при цьому найбільші затримки виникають на етапі погодження меж із суміжними землекористувачами. Використання БПЛА скорочує ці строки: за один виліт формується ортофотопокриття площі 50–200 га з роздільною здатністю 3–5 см/піксель, а точність 2–3 см при РТК або РРК відповідає вимогам кадастру.

Порівняння підходів, які наведені в таблиці 2.4 показало, що найефективнішою є гібридна схема. Спочатку виконується БПЛА-зйомка, яка дозволяє виявити розбіжності між фактичним станом території та кадастровими межами. Польові роботи зводяться до контрольних вимірювань у проблемних точках. Такий підхід скорочує час виїздів на 45–60% і зменшує витрати на 40–50% порівняно з класичною методикою [13].

Ключові аспекти проведеного дослідження систематизовано у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

**Порівняльна характеристика ключових аспектів дослідження
розділу 2**

Об'єкт аналізу	Ключовий висновок	Практичне значення
Структура кадастрових даних	Чотириблочна структура; зміна в одному блоці вимагає узгодження з рештою	Забезпечує юридичну чистоту операцій; помилка в одному блоці блокує весь ланцюг реєстраційних дій
Причини втрати актуальності даних	Чотири групи чинників; воєнний фактор є домінуючим за масштабом впливу	Визначає пріоритетні зони для термінової інвентаризації та вибір методів виявлення розбіжностей
Традиційна геодезична зйомка	Висока юридична точність; повний цикл 3-8 тижнів; непридатна для замінованих зон	Залишається обов'язковою для підготовки фінального XML- файлу; ефективна для вузлових контрольних вмірювань
БПЛА- аерофотозйомка	Покриття 50-200 га за виліт; скорочення польових робіт на 45-60%	Ефективна для масового попереднього обстеження, верифікації меж та наочного погодження
Гібридний підхід	Поєднання БПЛА- знімання та наземних контрольних вимірювань у єдиному ланцюзі	Скорочення строків актуалізації у 3-4 рази без втрати вимог до точності координат



Рис. 2.2. Послідовність формування потреби в оновленні кадастрових даних ДЗК

Аналіз другого розділу підтверджує, що розбіжності між кадастровими даними та фактичним станом земель мають системний характер і виникають через поєднання природних процесів, господарської діяльності, воєнних факторів і технічних помилок. Одним інструментом їх усунути неможливо.

Традиційна геодезична зйомка залишається необхідною, але через високу трудомісткість не забезпечує швидкого оновлення великих територій. Поєднання БПЛА з наземними вимірюваннями змінює баланс між точністю та ресурсами, зменшуючи витрати часу і підвищуючи оперативність. Отримані результати формують основу для практичної методики застосування БПЛА у кадастрових роботах, що розглядається в третьому розділі [4].

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ КАДАСТРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ

3.1. Етапи планування та виконання аерознімання з БПЛА

БПЛА-зйомка включає повний технологічний цикл від планування до отримання геоприв'язаних даних для подальшої обробки. Якість ортофотопланів і цифрових моделей наряду залежить від точності підготовчих етапів, оскільки помилки планування або розміщення контрольних точок формують системні відхилення, які не усуваються на етапі обробки.

Основою процесу є технічне завдання, що визначає параметри зйомки: координати, площу, роздільну здатність і вимоги до точності, які наведені в таблиці 3.1. Воно впливає на вибір обладнання та методику польоту. Для кадастрових робіт типовими є показники 2–3 см у плані та 3–5 см по висоті за умови використання RTK/PPK і правильно організованої мережі GCP [63].

Застосування БПЛА у кадастровій зйомці охоплює повний технологічний цикл — від планування до отримання геоприв'язаних даних, придатних для фотограмметричної обробки. Якість ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу та контурів ділянок визначається точністю підготовчих етапів: помилки планування маршруту або розміщення GCP формують системні відхилення, які неможливо компенсувати постобробкою.

Початковим етапом є формування технічного завдання, яке задає вимоги до точності, роздільної здатності та геоприв'язки. Для кадастрових робіт орієнтир становить 2–3 см у плані та 3–5 см по висоті за умови використання RTK/PPK і контрольних точок [63].

Далі виконується передпольотний аналіз місцевості в UgCS, QGroundControl або DJI Ground Station Pro з виявленням перешкод, зон безпеки та перевіркою обмежень повітряного простору. Окремо оцінюються погодні умови: вітер понад 8–10 м/с і висока хмарність знижують якість знімків, тому оптимальним є денний інтервал із стабільним освітленням. Додатково

враховуються вимоги авіарегулювання та реєстрації БПЛА, особливо для апаратів понад 2 кг і польотів у чутливих зонах [53].

Після цього формується маршрут польоту з автоматичним розрахунком перекриття (80% поздовжнє і 70% поперечне) та висоти з урахуванням GSD 1–1,5 см. Для рівнинних територій застосовується стандартна траєкторія, для рельєфних — корекція по DEM, що забезпечує стабільну роздільну здатність по всій площі [68].

Вибір платформи залежить від масштабу: мультироторні БПЛА ефективні до 50–70 га, тоді як фіксоване крило або VTOL застосовується для великих масивів до 200–300 га.

Окремим критичним елементом є GCP. Для площ до 1 км² зазвичай використовують 12–18 точок або мінімальну схему з 1–3 контрольними точками при RTK зйомці. Їх якісне розміщення безпосередньо впливає на стабільність моделі [7].

Перед польотом перевіряється технічний стан БПЛА, батареї, GNSS-сигнал і коректність маршруту. Особлива увага приділяється RTK/PPK-ініціалізації ($PDOP \leq 2,5$), оскільки нестабільна корекція призводить до зміщень координат [12].

У польоті апарат працює в автоматичному режимі, а оператор контролює телеметрію: висоту, заряд, GPS і стан камери. При зниженні заряду до критичних значень виконується повернення в точку старту [20]. Для рівнинних ділянок інколи застосовується додатковий косий прохід для підвищення якості реконструкції.

Після завершення польоту виконується первинна перевірка знімків і за потреби — локальне дознімання проблемних ділянок [11].

Детальна характеристика параметрів, що регламентують якість аерознімання для кадастрових потреб, систематизована у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні параметри аерознімання БПЛА для кадастрової зйомки

Параметр	Рекомендоване значення	Нормативне обґрунтування
Висота польоту (надир)	40-50 м (детальна зйомка); 100-300 м (маршрутна зйомка)	Забезпечення GSD 1-1,5 см для кадастрових матеріалів
GSD (роздільна здатність)	Не більше 1-1,5 см/піксель	Вимога до точності меж земельних ділянок
Повздовжнє перекриття	80%	Забезпечення стереоефекту для SfM-реконструкції
Поперечне перекриття	70%	Мінімізація «сліпих зон» між маршрутними смугами
Точність RTK/PPK	1-2 см (горизонт.), 2-3 см (висота)	Відповідність кадастровим допускам
Кількість GCP на 1 км²	12-18 (рівномірний розподіл)	Оптимальний баланс точності і польових витрат
Мінімум GCP при RTK-БПЛА	1 центральна + 3-5 контрольних	Підтвердження якості прямого геореференсування
Швидкість вітру	До 8 м/с	Запобігання розмиттю знімків і корсовому дрейфу
Час зйомки	2 год після сходу – 2 години до заходу	Рівномірне освітлення без критичних тіней
Кількість знімків (50-100 га)	300-500 RAW-кадрів	Залежить від висоти польоту і розміру матриці

Практика кадастрового аерознімання показує низку типових помилок, які безпосередньо впливають на якість кінцевих матеріалів. Недостатнє позовжнє перекриття (менше 70%) призводить до розривів у фотограмметричній моделі, особливо на ділянках із рівномірною текстурою, де алгоритм не може стабільно

знаходити спільні точки між знімками. Нерівномірне розміщення GCP, зокрема їх концентрація в центрі ділянки, викликає краєві деформації моделі та знижує точність визначення меж по периметру [6].

Окрему групу ризиків формують GNSS-технології та умови польоту. Втрата RTK-корекції і перехід у режим float знижує точність геоприв'язки окремих кадрів до 25 см, що є неприйнятним для кадастру. У таких випадках доцільно застосовувати PPK-підхід, який дозволяє виконати постобробку GNSS-даних із базовою станцією та отримати стабільну точність без залежності від зв'язку під час польоту. Додатковим фактором є температурний режим акумуляторів: при температурі нижче $+5^{\circ}\text{C}$ їх ємність падає на 20–30%, що скорочує тривалість польоту і підвищує ризик аварійної посадки, тому перед вильотом потрібен прогрів до $+15\dots+20^{\circ}\text{C}$ у холодні сезони.

Сукупність цих параметрів визначає, чи буде БПЛА виступати як інструмент візуального знімання, чи як вимірювальна система, придатна для кадастрових робіт. Дотримання базових вимог — GSD 1–1,5 см, перекриття 80/70%, RTK або PPK-корекція та мінімально необхідна кількість опорних точок — забезпечує горизонтальну точність 2–3 см і вертикальну 3–5 см [26]. При цьому якість ортофотоплану та точність меж безпосередньо залежать від якості вихідного масиву знімків, який формується ще на етапі польоту. Подальша обробка цих даних і побудова кадастрових продуктів розглядається у підрозділі 3.2.

3.2. Обробка матеріалів аерознімання та вимоги до їх якості для потреб кадастру

Польовий етап аерознімання не завершує процес, а лише формує вихідний масив даних для подальшої обробки. RAW-знімки, отримані під різними кутами та з різними геометричними спотвореннями, не мають самостійної вимірювальної цінності без фотограмметричної обробки. Перетворення цих даних у точний просторовий продукт відбувається на етапі камеральної обробки, де поєднуються автоматизовані алгоритми та

геодезичний контроль якості. Від коректності цього процесу залежить юридична придатність ортофотоплану для кадастрового використання [38].

Основою обробки є метод Structure from Motion, який відновлює тривимірну модель простору за набором перекривних знімків. Алгоритм визначає ключові точки (SIFT або SURF), встановлює відповідності між кадрами та обчислює положення камери для кожного зображення. На виході формується розріджена хмара точок, яка відображає первинну геометрію об'єкта і потребує подальшого ущільнення та геоприв'язки.

У практиці кадастрових робіт найчастіше використовують Agisoft Metashape Professional, Pix4Dmapper і DroneDeploy. Перша платформа застосовується у наукових і державних установах завдяки точності та офлайн-режиму, друга орієнтована на комерційне картографування й автоматизацію, третя — на швидке хмарне опрацювання великих масивів даних. Усі вони підтримують формати GeoTIFF і LAS, сумісні з ГІС та кадастровими системами [47].

Різниця між платформами у кінцевій точності невелика: при однакових вихідних даних відхилення RMSE може становити 0,5–1,5 см. Вирішальне значення мають не програмні інструменти, а якість вхідних параметрів — калібрування камери, щільність перекриття та кількість і розміщення GCP. Саме ці фактори визначають стабільність результату на рівні кадастрової точності.

Фаза 1. Попередня перевірка та фотограмметричне вирівнювання. Після імпорту масиву знімків програма зчитує EXIF-метадані кожного кадру: координати центру проектування (з бортового GPS або RTK-модуля), висоту польоту, кути орієнтування і фокусну відстань. Ці дані є початковими наближеннями для обчислення зовнішнього орієнтування. На підставі метаданих програма автоматично ранжує знімки за ступенем перекриття і формує пари для пошуку сполучних точок [52].

Перед початком вирівнювання оператор вручну вилучає дефектні кадри: розмиті через різкий порив вітру або вібрацію підвісу камери, передекспоновані

через хмарну дифузію в момент зйомки, а також кадри з надмірним кутом нахилу апарата (понад 5°), що спотворює GSD у межах конкретного знімка. Вилучення навіть 5–7% бракованих кадрів зі 400-кадрового масиву помітно покращує стабільність фотограмметричної сітки. Алгоритм SfM далі визначає спільні точки між парами знімків і формує розріджену хмару точок, яка є початковою тривимірною моделлю. На цьому етапі вже можна побачити можливі прогалини та геометричні спотворення структури.

Фаза 2. Геодезична прив'язка та аеротриангуляція. Розріджена хмара точок прив'язується до державної системи координат через наземні контрольні точки. Оператор вручну позначає GCP-марки на знімках, де вони видимі, і вводить їх польові координати, виміряні RTK-приймачем. Програма виконує спільне вирівнювання, під час якого ітераційно уточнюються положення камер і координати спільних точок з урахуванням відомих координат опорних точок GCP.

Результат вирівнювання характеризується двома показниками: похибкою репроекції (у пікселях) і RMSE на контрольних точках (у метрах). Похибка репроекції менше 1 пікселя і RMSE менше одного значення GSD свідчать про коректне вирівнювання. Дослідження 2025 року, проведені з використанням Agisoft Metashape, показують, що при застосуванні RTK-БПЛА з одним центральним GCP і п'ятьма контрольними точками середньоквадратична похибка на рівнинних ділянках становить 2–4 см у плані та 4–6 см по висоті, що відповідає вимогам кадастрових робіт. У випадку роботи без GCP, лише на основі RTK, спостерігається помітна систематична похибка по висоті до 8–12 см через відсутність прив'язки до абсолютного рівня [65].

На цьому ж етапі відбувається автокалібровка об'єктива камери: програма уточнює параметри дисторсії на підставі сітки сполучних точок. Якщо знімки зроблені лише в режимі надиру (камера строго вертикальна), автокалібровка може давати нестабільні результати через малий кут конвергенції між кадрами. Тому при наявності часу рекомендується додатковий

косий прохід під кутом 20–30° до вертикалі: він принципово покращує оцінку параметрів дисторсії і знижує систематичні «купольні» деформації моделі.

Фаза 3. Ущільнена хмара точок та цифрові моделі поверхні. Після вирівнювання програма генерує ущільнену хмару точок (dense point cloud) шляхом алгоритму Multi-View Stereo (MVS), який порівнює попиксельно кожну пару знімків і інтерполює глибину для мільйонів точок. Для ділянки площею 1–2 км² типова щільність ущільненої хмари становить 200–400 точок/м² при висоті польоту 50 м, що забезпечує детальне відтворення рельєфу і контурів об'єктів.

На основі ущільненої хмари будується цифрова модель поверхні (DSM) – тривимірне представлення всього, що знаходиться над землею: будівель, рослинності, інфраструктурних об'єктів. Для кадастрових цілей більшу практичну цінність має цифрова модель рельєфу (DTM), яка отримується шляхом фільтрації хмари точок: алгоритми (CSF, SMRF) відділяють точки рослинності і штучних споруд від точок земної поверхні. Точність DTM-фільтрації залежить від щільності рослинного покриву: на відкритих полях RMSE вертикальних відхилень становить 3–5 см, тоді як під лісосмугами середня похибка може зростати до 15–20 см через неповне проникнення фотограмметричних точок під крону [21].

Фаза 1. Попередня перевірка та фотограмметричне вирівнювання. Після імпорту знімків програма аналізує EXIF-дані: координати центру зйомки, висоту, орієнтацію камери та фокусну відстань. На цій основі формується початкова геометрія та підбираються пари знімків для пошуку спільних точок [52]. Далі оператор прибирає дефектні кадри — розмиті, пересвічені або з надмірним нахилом, оскільки навіть незначна частка таких знімків (5–7%) впливає на стабільність моделі. Після цього алгоритм Structure from Motion будує розріджену хмару точок, яка вже дозволяє оцінити якість перекриття та наявність геометричних розривів.

Фаза 2. Геодезична прив'язка та аеротриангуляція. Розріджена модель прив'язується до державної системи координат через GCP. Оператор позначає

контрольні точки на знімках і вводять їх координати, отримані RTK-вимірюванням. Під час аеротриангуляції система уточнює положення камер і просторову структуру моделі. Якість результату оцінюється через похибку репроекції та RMSE: значення менше 1 пікселя та в межах одного GSD вказують на коректне вирівнювання. Для RTK-БПЛА з мінімальною кількістю GCP досягається точність 2–4 см у плані та 4–6 см по висоті, тоді як відсутність наземних точок збільшує вертикальну похибку до 8–12 см [65]. На цьому етапі також виконується автокалібровка камери, яка покращується при додаткових косих знімках під кутом 20–30°.

Фаза 3. Ущільнена хмара точок та цифрові моделі поверхні. Після вирівнювання формується ущільнена хмара точок методом Multi-View Stereo, що забезпечує високу щільність просторових даних – до 200–400 точок/м² для середніх висот зйомки [21]. На її основі створюється цифрова модель поверхні (DSM), яка відображає всі об'єкти місцевості, а також цифрова модель рельєфу (DTM), отримана шляхом фільтрації рослинності та забудови. Якість DTM залежить від умов території: на відкритих ділянках похибка становить 3–5 см, тоді як під щільною рослинністю може зростати до 15–20 см через обмежену видимість земної поверхні.

Фаза 4. Генерація ортофотоплану. Дослідження 2025 року з використанням Agisoft Metashape показують, що RTK-БПЛА з одним центральним GCP і п'ятьма контрольними точками забезпечує RMSE 2–4 см у плані та 4–6 см по висоті. Робота без GCP і лише на RTK призводить до систематичного вертикального зміщення 8–12 см через відсутність абсолютної прив'язки. На виході формується суцільна ортомозаїка з єдиним масштабом і прив'язкою до УСК-2000, доповнена метаданими.

Якість ортофотоплану залежить від стабільності освітлення та відсутності рухомих об'єктів під час зйомки. Різні умови експозиції між сусідніми кадрами можуть давати смуги або різницю яскравості на стиках зображень. Програмна обробка частково компенсує ці ефекти автоматично, у складних випадках виконується ручне коригування швів у зонах межових об'єктів. Результат

експортується у GeoTIFF із просторовою прив'язкою та роздільною здатністю, що відповідає заданому GSD [58].

Контроль якості виконується у двох площинах. Внутрішня перевірка базується на RMSE за контрольними точками, що не використовувались у вирівнюванні. Зовнішня перевірка передбачає польові вимірювання 10–15 характерних об'єктів GNSS або тахеометром і їх порівняння з ортофотопланом. У рівнинних умовах нормативи Держгеокадастру встановлюють допустиму похибку до 10 см RMSE для меж і просторову роздільність 2–3 см для масштабу 1:500. Ці вимоги досяжні за умови RTK-корекції, наявності одного центрального GCP на 1 км² і п'яти контрольних точок, а також коректної фотограмметричної обробки в Metashape або Pix4D [59].

Систематизовані нормативні параметри для вихідних матеріалів аерознімання наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Нормативні вимоги до вихідних матеріалів БПЛА-аерознімання для кадастру

Параметр якості	Вимоги кадастру	Метод контролю
1	2	3
GSD (роздільна здатність)	Не більше 2-3 см/піксель	Перевірка параметрів польоту і камери
Планова точність (RMSE)	Не більше 5-10 см	Зовнішній контроль по тахеометрії або GNSS
Вертикальна точність (RMSE DTM)	Не більше 5-8 см на відкритих ділянках	Контрольні нівелірні профілі
Повздовжнє/поперечне перекриття	80%/ 70%	Аналіз масиву знімків після польоту
Похибка репроекції	Менше 1 пікселя	Звіт програми обробки
Формат ортофотоплану	GeoTIFF, система УСК-2000	Перевірка метаданих файлу

Продовження табл. 3.2

1	2	3
Формат хмари точок	LAS/LAZ або XYZ	Перевірка сумісності з ГІС
Щільність хмари точок	200-400 точок/м ² (на висоті 50 м)	Звіт обробки
Колірне вимірювання мозаїки	Відсутність видимих швів в зонах межових ліній	Візуальний контроль
Відповідність координатній системі	УСК-2000 (EPSG:5562 або регіональна)	Перевірка CSR у метаданих

Впровадження БПЛА у земельне адміністрування відбувається нерівномірно і залежить від нормативної бази, цифровізації та підготовки фахівців. Водночас технологія поступово стає основним джерелом просторових даних для оновлення кадастру. Дослідження 2024–2025 років показують, що на ділянках понад 50 га швидкість польових робіт зростає у 5–10 разів, щільність вимірювань у тисячі разів, а витрати зменшуються на 50–70 відсотків порівняно з класичною тахеометрією [27].

Ефективність визначається не лише швидкістю зйомки, а й інтеграцією даних у кадастрову систему та забезпеченням юридичної коректності. За наявності нормативної бази і кваліфікованих виконавців БПЛА дає стабільний результат, у протилежному випадку дані не використовуються в правовому полі. Основне прикладне завдання полягає у масовій інвентаризації земель. Процес включає виявлення розбіжностей між ортофотопланом і ДЗК при відхиленні понад 10 см, векторизацію меж у ГІС та геодезичний контроль кутових точок GNSS або тахеометром для формування XML-файлу [31].

Міжнародний досвід підтверджує ефективність підходу. В Індонезії програма Complete Systematic Land Registration із БПЛА-зйомкою 5 см зменшила середнє зміщення меж з 0,8 м до 0,4–0,5 м і пришвидшила оформлення прав на великих територіях. В Україні метод застосовують для

уточнення меж паїв, де первинне розмежування мало похибки 1–3 м, що створює значні розбіжності площі. Використання БПЛА та векторизації за ортофотопланом дозволяє фіксувати фактичний стан і готувати матеріали для внесення змін до Державного земельного кадастру [36].

Додатково ортофотоплани використовують для виявлення самовільних змін, будівель і огорож, відсутніх у реєстрі. Порівняння актуальних і архівних знімків дозволяє фіксувати зміни без виїзду геодезиста, що прискорює контроль великих територій. Приклад ортофотоплану, отриманого після фотограмметричної обробки матеріалів аерознімання, наведено у додатку В.

3.3. Практичне застосування БПЛА для оновлення кадастрових даних та інвентаризації земель, проблеми та напрями вдосконалення

Впровадження БПЛА у земельне адміністрування відбувається нерівномірно і залежить від нормативної бази, підготовки кадрів та рівня цифровізації кадастрових систем. Попри це, технологія поступово стає основним інструментом отримання просторових даних для оновлення земельних реєстрів. Порівняльні дослідження 2024–2025 років показують, що на ділянках понад 50 га швидкість польових робіт зростає у 5–10 разів, щільність вимірювань у тисячі разів, а витрати зменшуються на 50–70% порівняно з класичною тахеометрією [27].

Однак показники продуктивності самі по собі не визначають ефективність технології. Важливішими є здатність інтегрувати дані в кадастрову систему, забезпечити їх юридичну коректність і підтримувати метрологічний контроль. За цих умов БПЛА дає стабільну перевагу, тоді як за відсутності регулювання або кваліфікації результати не використовуються у правовому полі.

Основне застосування БПЛА у кадастрових роботах пов'язане з масовою інвентаризацією земель, передусім сільськогосподарських. Процес включає три етапи. Спочатку порівнюють ортофотоплан із даними ДЗК і визначають ділянки з відхиленням меж понад 10 см. Далі виконують векторизацію

оновлених контурів у ГІС середовищі з коригуванням геометрії. Завершальним етапом є геодезичний контроль кутових точок GNSS або тахеометром для формування XML-файлу [31].

Ефективність БПЛА на рівні національних програм підтверджена досвідом Індонезії. У межах Complete Systematic Land Registration у місті Чімахі виконали суцільне знімання з роздільною здатністю 5 см і використали ортофотоплани для автоматизованого уточнення кадастрових полігонів. Середнє зміщення меж зменшилось з 0,8 м до 0,4–0,5 м, що прискорило оформлення прав на територіях із застарілими зйомками.

В Україні цей підхід застосовують для уточнення меж паїв і сільськогосподарських масивів, де первинна приватизація базувалась на неточних планах. Типові похибки становлять 1–3 м, що дає значні розбіжності площі та часто призводить до спорів. Поєднання БПЛА-зйомки з векторизацією за ортофотопланом дозволяє зафіксувати фактичні межі та підготувати матеріали для внесення змін до Державного земельного кадастру [36].

Додатково ортофотоплани використовують для виявлення самовільних захоплень і неврахованих об'єктів. Знімки з GSD 2–5 см дають змогу ідентифікувати будівлі, огорожі та інфраструктуру, відсутні в реєстрі. Порівняння актуальних і архівних знімків дозволяє документально зафіксувати зміни без обов'язкового виїзду геодезиста.

Систематизований порівняльний аналіз продуктивності тахеометричного і БПЛА-аерофотознімання для ділянок площею 100 га наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

**Порівняльна ефективність методів знімання для кадастрових робіт
(ділянка 100 га)**

Показник	Тахеометрична зйомка	БПЛА (фотограмметрія + RTK)
Тривалість польових робіт	4-6 днів (бригада 3 ос.)	2-4 години (1 оператор)
Щільність вимірювань	10-50 точок/га	200 000+ точок/га
Геометрична точність	1-2 см	2-5 см (RTK/PPK+GSP)
Придатність для мінованих зон	Непридатна	Придатна (безпілотний режим)
Вихідний продукт	Координатний список точок	Ортофотоплан+DTM+хмара точок
Придатність для юридичних документів	Так (після геодезичного акта)	Так (після зовнішнього контролю)
Мінімальна площа, при якій БПЛА вигідніший	—	Від 20-30 га

Таблиця показує, що тахеометрична зйомка зберігає перевагу лише в задачах з одиничними точковими вимірюваннями та високими вимогами до юридичної фіксації координат. У всіх сценаріях масової інвентаризації та регулярного оновлення великих масивів земельних даних БПЛА має значну перевагу [56].

Обмеження впровадження безпілотних технологій починаються з нормативно-правового рівня. В Україні під час воєнного стану значна частина повітряного простору має обмеження, які змінюються оперативно, а погодження польотів у Державній авіаційній службі може тривати від тижня до місяця. У зонах бойових дій виконання зйомки фактично неможливе. Додатково відсутній єдиний нормативний документ, який би регламентував

використання БПЛА для офіційних кадастрових робіт. Через це результати зйомки можуть по різному трактуватися на рівні реєстрації, що створює правову невизначеність. До технічних обмежень належить і складність обробки великих масивів даних, де навіть середній проєкт потребує потужного обладнання та тривалого часу розрахунків, інколи до 12–20 годин без апаратного прискорення [54].

Окремим суттєвим фактором є залежність фотограмметрії від умов видимості поверхні. У зонах із щільною рослинністю RGB знімання не дозволяє отримати інформацію про рельєф під кронами дерев. У таких випадках ефективнішими є гібридні рішення з LiDAR, які здатні частково відтворювати нижній рівень поверхні. Наприклад, DJI Zenmuse L2 у складі DJI Matrice 350 RTK забезпечує точність на рівні 2–3 см навіть у складних умовах.

До технічних і організаційних проблем належить також недостатній рівень підготовки операторів. Кадастрова БПЛА зйомка вимагає не лише навичок пілотування, а й розуміння геодезичних принципів, оцінки точності та роботи з фотограмметричними звітами. На практиці часто недооцінюється роль GCP, що призводить до деформацій моделей навіть за наявності RTK-корекції. Це потребує залучення кваліфікованих геодезистів до контролю результатів [32].

Паралельно розвиваються технологічні рішення, що поступово зменшують ці обмеження. Використання штучного інтелекту для класифікації об'єктів на ортофотопланах дозволяє скорочувати час векторизації та автоматизувати частину камеральних робіт. Алгоритми типу SAM та ICP вже демонструють зменшення похибок меж до 0,4–0,5 м без ручного втручання. Системи в Pix4D і Agisoft Metashape автоматично розподіляють точки на класи земної поверхні, що пришвидшує формування DTM і зменшує обсяг ручної роботи [34].

Ще один напрям розвитку пов'язаний із гібридними сенсорними системами, де поєднуються RGB-фотограмметрія та LiDAR. Такі комплекси забезпечують точне моделювання рельєфу навіть у лісистих районах, де

класична фотограмметрія втрачає інформативність. Паралельно формується тенденція до стандартизації кадастрових БПЛА процедур, оскільки без єдиних вимог до GSD, GCP і формату результатів масштабне впровадження технології залишається обмеженим.

Приклад оновлення кадастрової інформації на територіях придорожньої забудови наведено у додатку А, де відображено результати аерознімання із фіксацією фактичного розміщення тимчасових споруд та меж землекористування. Ортофортоплан масиву земельних ділянок із відображенням меж землекористувань подано у додатку С.

Попри наявні бар'єри, ефективність БПЛА у кадастрових роботах залишається високою. Швидкість виконання польових робіт зростає у кілька разів, щільність просторових даних суттєво перевищує класичні методи, а витрати зменшуються до 50–70 відсотків. Реалізація повного потенціалу технології залежить від усунення нормативних обмежень, підвищення кваліфікації виконавців і впровадження автоматизованих інструментів обробки даних [39].

Висновки до розділу 3

Третій розділ описує повний технологічний процес застосування БПЛА в кадастрових роботах, починаючи з планування польоту і підготовки контрольної мережі та завершуючи фотограмметричною обробкою і використанням результатів для інвентаризації земель і оновлення Державного земельного кадастру. Кожен етап залежить від попереднього, а точність кінцевих даних визначається дотриманням нормативних вимог на всіх стадіях процесу, це наведено у таблиці 3.4.

Підрозділ 3.1 показує, що підготовка та планування визначають до 80% якості результату. Важливими є параметри польоту, зокрема просторова роздільна здатність 1–1,5 см, поздовжнє перекриття близько 80% і поперечне близько 70%. Для точності також потрібне коректне розміщення контрольних точок у межах 12–18 на км² або використання 1 центральної та 5 контрольних

при RTK. Порушення цих вимог призводить до помилок у моделі, які неможливо повністю виправити на етапі обробки [46].

Камеральна обробка є складнішою і більш вимогливою до підготовки оператора, ніж сам політ. Вона включає перевірку даних і SfM-вирівнювання, геодезичну прив'язку через bundle block adjustment, побудову хмар точок з формуванням DSM і DTM та орторектифікацію з мозаїкуванням. За коректних налаштувань отримують ортофотоплан із точністю 2–5 см і роздільною здатністю 2–3 см.

Перед передачею результатів обов'язковою є перевірка якості, яка охоплює RMSE за контрольними точками та польовий контроль із GNSS або тахеометрією.

Підрозділ 3.3 показує рівень впровадження БПЛА в кадастр і його обмеження. Для площ понад 50 га роботи виконуються у 5–10 разів швидше, а витрати знижуються на 50–70% порівняно з тахеометрією. Водночас розвиток стримують три групи факторів: нормативні обмеження і відсутність повних стандартів, технічні проблеми RGB-зйомки під рослинністю та великі обсяги даних, а також нестача підготовлених фахівців у сфері геодезичної обробки [29].

Результати аналізу показують значний вплив людського фактора на точність кадастрових матеріалів. Близько 30% похибок виникає не через техніку чи програмне забезпечення, а через дії оператора. Найчастіше це ігнорування контрольних точок, недооцінка помилок у звітах обробки та виконання зйомок у невідповідних погодних умовах. Це підтверджує, що рівень підготовки виконавця має такий самий вплив на якість результату, як і технічні характеристики обладнання.

Таблиця 3.4

**Системний підхід до оновлення кадастрових даних з використанням
БПЛА**

Етап роботи	Ключовий інструмент	Результат	Вплив на кадастр
Підготовчий етап	QGroundControl/, RTK-база	Оптимальний маршрут і мережа GCP	Мінімізація ризиків повторних вильотів і систематичних помилок
Збір даних (аерознімання)	БПЛА із RTK/PPK-модулем	300-500 RAW-кадрів, GSD 1-1,5 см	Забезпечення повноти охоплення і точності геоприв'язки
Камеральна обробка	Agisoft Metashape/ Pix4D	Ортофотоплан GeoTIFF+DTM/LAS	Метрична точність кадастрового плану масштабу 1:500
Контроль якості	Тахеометр/GNSS-приймач	RMSE до 10 см	Відповідність нормативним вимогам до матеріалів ДЗК
Векторизація меж	QGIS/ArcGIS	Кадастрові полігони у форматі GIS	Актуальність і геометрична коректність меж ділянок
Внесення до реєстру	XML-конвертер, ДЗК-портал	Актуалізований запис у ДЗК	Юридична легітимність нових меж і площ ділянок

Отримані результати показують, що технологічна база БПЛА для кадастрових задач уже є достатньо розвиненою. Методи SfM і MVS, RTK і PPK корекція, автоматизована обробка хмар точок і сегментація ортофотопланів забезпечують точність, яка відповідає чинним вимогам. Основні обмеження виникають не на технічному рівні, а в організації процесів, зокрема через відсутність єдиного стандарту, недостатню підготовку фахівців і обмежений доступ до повітряного простору [41].

Отже, третій розділ підтвердив практичну реалізованість технологічного підходу, обґрунтованого у попередніх розділах. Запропонований чотирифазний алгоритм від планування польоту до внесення актуальних даних у ДЗК є відтворюваним, технічно обґрунтованим і достатньо детально описаним для впровадження у виробничу практику кадастрових підрозділів і землевпорядних організацій.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота розглядає технологічні, правові та практичні аспекти використання БПЛА у землеустрої та кадастрі. Проблема дослідження сформована на стику розвитку геопросторових технологій і деградації кадастрової бази України в умовах воєнних дій. Аналіз проведено на трьох рівнях: теоретичному, діагностичному та прикладному.

Результати підтверджують гіпотезу, що БПЛА можуть значно пришвидшити та здешевити оновлення ДЗК при збереженні необхідної точності. Водночас ефективність їх впровадження залежить від організаційних і нормативних умов, а не лише від технічних можливостей.

З теоретичного боку робота систематизує підходи до використання БПЛА в кадастрових процесах. З практичного боку сформовані рекомендації можуть бути застосовані в роботі Державної служби з питань геодезії, картографії та кадастру та землепорядних організацій під час оновлення просторових даних.

Перший розділ сформував теоретичну базу дослідження і показав, що класифікація БПЛА у кадастрових задачах залежить не лише від конструкції, а й від сценаріїв застосування. Мультироторні системи доцільні для точних зйомок невеликих територій до 50–70 га, тоді як апарати з фіксованим крилом ефективніші для великих площ понад 100 га. Конвертоплани поєднують переваги обох типів і є більш придатними для складного рельєфу, зокрема в районах із пошкодженою інфраструктурою. Точність RTK і РРК на рівні 1–3 см у плані та 2–5 см по висоті відповідає вимогам кадастрових робіт, але досягається лише за умови повного технологічного циклу.

Аналіз нормативної бази показав, що регулювання БПЛА в Україні перебуває на етапі формування. Загальні вимоги до реєстрації та польотів існують, але окремого стандарту для кадастрових матеріалів поки немає. Це створює труднощі для виконавців і ускладнює приймання результатів. Міжнародний досвід країн, які успішно масштабували використання БПЛА,

свідчить про необхідність поєднання технічних стандартів із пілотними програмами впровадження.

Другий розділ показав, що актуальність кадастрових даних втрачається через поєднання кількох незалежних процесів. Державний земельний кадастр побудований на чотириблочній структурі, де ідентифікаційний, атрибутивний, просторовий і технічний компоненти взаємопов'язані. Це означає, що неточність в одному елементі знижує достовірність усього запису, а виправлення помилок після їх накопичення потребує значно більше ресурсів, ніж своєчасне оновлення.

Виділено чотири основні причини деградації даних. Природні процеси поступово змінюють конфігурацію земель. Господарська діяльність формує найбільшу кількість юридично значущих розбіжностей через зміну меж і забудову без відображення в реєстрі. Системні помилки пов'язані з переходом до УСК-2000 і спадковими неточностями старих даних. Воєнний фактор має найбільший руйнівний вплив, оскільки одночасно пошкоджує території та блокує проведення наземних вимірювань у значних регіонах.

За наявними оцінками, значні площі сільськогосподарських земель потребують уточнення меж, при цьому частина територій залишається недоступною для наземних вимірювань через безпекові обмеження. Це робить класичну тахеометричну зйомку малопридатною для масштабних оновлень кадастру, оскільки її цикл триває тижнями і потребує значних ресурсів. Для великих площ така модель роботи стає повільною і економічно обтяжливою.

Більш ефективним виявляється гібридний підхід, де БПЛА забезпечує суцільне покриття території, а наземні вимірювання виконують лише контрольні функції у ключових точках. Така комбінація дозволяє суттєво скоротити строки виконання робіт, зберігаючи необхідний рівень точності.

Третій розділ показав, що основна частина якості кадастрового результату формується на етапі підготовки. Вирішальними є параметри просторової роздільної здатності, перекриття знімків і правильна побудова контрольної мережі або використання RTK-схеми. Додатково важливим

фактором є автоматизоване планування польоту у спеціалізованому ПЗ, яке мінімізує помилки оператора і забезпечує стабільність виконання зйомки.

Камеральна обробка складається з послідовних етапів, які включають SfM-вирівнювання, bundle block adjustment із GCP, побудову щільної хмари точок з DTM-фільтрацією та орторектифікацію. У результаті формується ортофотоплан із горизонтальною точністю 2–5 см, а внутрішня похибка RMSE зазвичай не перевищує 10 см. Всі стадії є взаємозалежними, і спрощення будь-якої з них призводить до накопичення похибок, що унеможливорює використання матеріалів у кадастрових процедурах.

Для територій понад 50 га БПЛА-зйомка суттєво підвищує ефективність робіт: польовий етап скорочується у 5–10 разів, щільність вимірювань зростає до сотень тисяч точок на гектар, а витрати зменшуються на 50–70 відсотків. Практичні результати підтверджуються міжнародними проєктами, зокрема досвідом Індонезії, де після впровадження БПЛА знизилися середні похибки визначення меж.

Дослідження також виявило ключові бар'єри впровадження. Основним є відсутність єдиного нормативного стандарту для БПЛА-даних у кадастрі та обмеження доступу до повітряного простору. Це ускладнює уніфікацію вимог до точності та формату результатів і стримує масштабне застосування технології.

Друге обмеження має технічну природу і формується двома основними факторами. RGB-фотограмметрія не дозволяє коректно відновлювати рельєф під щільною рослинністю, оскільки обробка даних базується на видимій поверхні крон, а не на землі. Додатково, великі обсяги знімків ускладнюють обчислювальний процес і створюють вузьке місце під час масштабних проєктів, особливо на регіональному рівні.

Третє обмеження пов'язане з людським фактором і рівнем підготовки виконавців. Значна частина помилок виникає через некоректну наземну прив'язку навіть за умови справного обладнання. Це свідчить, що якість

результату залежить не лише від техніки, а й від дотримання методики та кваліфікації оператора.

Подальший розвиток технології визначається трьома напрямками. Перший пов'язаний із впровадженням алгоритмів штучного інтелекту для автоматизації обробки ортофотопланів і хмар точок, що суттєво скорочує час камерального етапу. Другий напрям передбачає використання гібридних LiDAR і RGB систем для отримання точних моделей рельєфу в складних умовах рослинності. Третій полягає у формуванні єдиного національного стандарту для БПЛА-даних, який має визначити вимоги до точності, структури матеріалів і контролю якості кадастрових результатів.

Безпілотні літальні апарати в кадастровій і землевпорядній практиці перейшли до рівня робочого інструмента, який забезпечує масове оновлення просторових даних. Сучасні технології збору і обробки інформації дозволяють отримувати результати, що відповідають вимогам кадастрової документації за точністю і деталізацією. Досвід інших країн показує, що за наявності нормативної бази і підготовлених кадрів такі системи скорочують строки оновлення кадастру до кількох років, тоді як класичні підходи потребують значно більше часу.

В Україні основні труднощі пов'язані не з технічним рівнем, а з організаційними умовами. Відсутність уніфікованих стандартів, нестача спеціалістів і обмеження використання повітряного простору знижують темпи впровадження технології. Ці питання належать до сфери регулювання і управлінських рішень, тоді як технічна база вже є достатньо розвиненою.

Оновлення кадастрових даних має безпосередній вплив на відновлення прав власності, інвестиційну активність і функціонування земельного ринку. У таких умовах БПЛА-зйомка виступає найбільш ефективним інструментом для швидкого і масштабного збору актуальної просторової інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aryan A., Bosché F., Tang P. Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 125. 103551. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103551>
2. Aryan A., Bosché F., Tang P. Planning for UAV-based mapping in construction and land applications: a review. *Automation in Construction*. 2021. URL: [10.1016/j.autcon.2021.103551](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103551)
3. Automated mapping in land management. (2025). *Municipal Economy of Cities. Series: «Information Technology and Engineering»*, 1(189), 320-324. URL: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-320-324>
4. Chetverikov B. et al. Application of Orthophoto Maps Created from UAV Aerial Images. *Journal of Environmental & Earth Sciences*. 2024. URL: <https://doi.org/10.30564/jees.v6i2.6360>
5. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. *ISPRS Journal*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.09.013>
6. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2021. Vol. 170. pp. 79–97. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.10.013>
7. Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre. Standards for UAV Mapping in Cadastre. Prague, 2023. URL: <https://www.cuzk.cz>
8. European Union Aviation Safety Agency. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems. Cologne: EASA, 2023. URL: <https://www.easa.europa.eu>
9. FAO. Fit-for-purpose land administration using UAV mapping. Rome, 2022. URL: <https://www.fao.org>
10. FAO. Fit-for-purpose land administration: UAV-based mapping. Rome: FAO, 2022. URL: <https://www.fao.org>

11. Fetai B. Advancing Cadastral Mapping with UAVs and Automated Boundary Delineation. *Informatica*. 2024. <https://doi.org/10.31449/inf.v48i2.6800>
12. FIG (International Federation of Surveyors). Guidelines for UAVs in cadastral mapping. FIG Publication 2022. URL: <https://fig.net>
13. FIG. Guidelines for the Use of UAVs for Mapping and Cadastre. FIG Publication No. 78. 2022. URL: <https://www.fig.net>
14. 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. URL: <https://doi.org/10.62320/fm.v1.i1.14>.
15. Geneva International Centre for Humanitarian Demining. Mine Action and Sustainable Development [Text]. – Geneva: GICHD, 2020. – 48 p.
16. Hutsul, T. Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case [Text] / T. Hutsul, I. M. Lishchuk, R. M. Hladii, P. P. Dmukh // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10(7). – P. e29142.
17. Karabin M., Bakula K., Łuczyński R. Verification of the Geometrical Representation of Buildings in Cadastre Using UAV Photogrammetry. *Geomatics and Environmental Engineering*. 2021. URL: <https://www.gaee.agh.edu.pl/gaee/article/view/203>
18. Kudaibergenov O. Analysis of the Use of Satellite Data and Drones for Land Monitoring in Kazakhstan. *Preprints*. 2024. URL: <https://doi.org/10.20944/preprints202410.1229.v1>.
19. 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. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452004018>.
20. 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. C. 12. URL: <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00066-5>.

21. 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. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.

a. Mentus, I. Methods of mine detection for humanitarian demining: survey [Text] / I. Mentus, V. Yasko, I. Saprykin // *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. – 2022. – № 3. – C. 21–34.

22. Nex F., Remondino F. UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*. 2022. Vol. 14. pp. 1–20. URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-021-00385-5>

23. 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. URL: <https://doi.org/10.25195/ijci.v50i1.464>.

24. Šafář V. et al. The Use of UAV in Cadastral Mapping of the Czech Republic. *ISPRS Int. Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10(6). 380. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/6/380>

25. Saliba, A. Bridging Human Expertise with Machine Learning and GIS for Mine Type Prediction and Classification [Text] / A. Saliba, C. Claramunt, C. Zaki, K. Tout // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2024. – Vol. 13(7). – P. 259.

26. Stöcker C. et al. Review of UAV regulations and cadastral implications. *Remote Sensing*. 2021. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13153055>

27. Stöcker C., Bennett R., Nex F., Gerke M., Zevenbergen J. Review of the current state of UAV regulations. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13(15). 3055. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13153055>

28. 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. URL: <https://doi.org/10.3390/drones8010030>.
29. Tarnavskiy, V., Siroshant, T., Komarova, N., & Kaminetska, O. (2026). Integrated UAV and geospatial approaches for high-precision digital terrain modeling in cadastre and land management. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 13(1), 15–24. URL: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2026.13.1.291>
30. Thomas Lillesand, Ralph W. Kiefer, Jonathan Chipman «Remote Sensing and Image Interpretation, 7th Edition», February 2015 / Електронний ресурс - https://www.bkbcollege.in/upload/dpt_book/1669887716.pdf 2. Copernicus Data Space Ecosystem / Електронний ресурс - <https://dataspace.copernicus.eu/> 3. Yusupujang Aimaiti, Christina Sanon, Magaly Koch, Laurie G. Baise and Babak Moaveni / URL: https://www.researchgate.net/publication/366162260_War_Related_Building_Damage_Assessment_in_Kyiv_Ukraine_Using_Sentinel-1_Radar_and_Sentinel2_Optical_Images
31. Tkeshelashvili N. Automation of Spatial Framework Creation for Cadastral Mapping Using Drones and Deep Learning. *Junior Researchers*. 2024. URL: <https://doi.org/10.52340/jr.2024.02.02.10>
32. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103474>.
33. United Nations (UN-GGIM). Framework for Effective Land Administration (FELA). 2022. URL: <https://ggim.un.org>
34. United Nations. Framework for Effective Land Administration (FELA). New York: UN-GGIM, 2022. URL: <https://ggim.un.org>

35. 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. URL: <https://doi.org/10.3390/drones8030113>.
36. Wenkoff, J. Predictive GIS Modeling for Minefield Delineation in Post-conflict States [Text] / J. Wenkoff // *Journal of Military and Strategic Studies*. – 2012. – Vol. 14(2). – P. 1–26.
37. World Bank. UAVs for Land Administration and Management: A Practical Guide. 2021. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35884>
38. World Bank. UAVs for Land Administration and Management: A Practical Guide. Washington, DC, 2021. URL: <https://documents.worldbank.org>
39. Xing J., Sun S., Huang Q., Chen Z., Zhou Z. Application of Geoinformatics in Forest Planning and Management. *Forests*. 2024. 15(3). P. 439. URL: <https://doi.org/10.3390/f15030439>.
40. А.В Шарапова. Застосування методу 3D сканування у топографічному зніманні. 70–71.
41. Бобик , Д., & Міхно , О. (2024). Оптимізація землеустрою за допомогою безпілотних літальних апаратів та лазерного 3D сканування. *Collection of Scientific Papers «SCIENTIA»*, (May 31, 2024; Berlin, Germany), 302–305. URL: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/1890>
42. 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. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1\(39\)-315-327](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1(39)-315-327).
43. 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. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.268-285>.

44. Булишева ДВ, Г. В. (2021). Використання безпілотних літальних апаратів для створення геоінформаційних систем в процесі землеустрою.

45. Бутенко Е., Невойт Н. Особливості проведення геодезичних робіт із застосуванням БПЛА для потреб землеустрою. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2021. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Zemleustriy/article/view/14761>

46. Ворох В. В., Зацерковний В. Використання безпілотних літальних апаратів в задачах прецизійного землеробства. *Технічні науки та технології*. 2024. № 4(38). С. 336-349. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4\(38\)-336-349](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-4(38)-336-349).

47. Гуцул Т., Жежера І., Ткач В. Особливості класифікації та вибору БПЛА. *Технічні науки та технології*. 2023. URL: [10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-201-212](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212)

48. Дорошко Є., Ситник О., Кравчук М. Використання БПЛА для високоточного геодезичного знімання. *Просторовий розвиток*. 2025. URL: [10.32347/2786-7269.2025.11.597-610](https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.597-610)

49. Дорошко, Є., Ситник, О., & Кравчук, М. (2025). Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для високоточного геодезичного знімання. *Просторовий розвиток*, (11), 597–610. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.597-610>

50. Дорошко, Д. Р., & Головка, Л. В. (2021). Використання безпілотних літальних апаратів в землевпорядкуванні.

51. 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. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.68.12>.

52. Каштальянов І. С. Використання БПЛА для аерофотознімання при виконанні робіт землеустрою. Бакалаврська робота, 2024. URL: <https://ir.library.knu.ua/entities/publication/3b205c71-f270-4459-a153-df263e624a58>
53. Кирилюк В., Рожі Т., Харів В. Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. Просторовий розвиток. 2023. (6). С. 293–308. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>.
54. Коваленко, М.Ю. Застосування БПЛА для створення кадастрових карт. Львів: Видавництво "ЛНУ".
55. Ковальов, П. А. Роль стандартних операційних процедур (SOP) в управлінні якістю геопросторових даних при гуманітарному розмінуванні [Текст] / П. А. Ковальов, В. С. Громов // Вісник геодезії та картографії. – 2023. – № 4(91). – С. 45–52.
56. 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.
57. 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. URL: [10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3](https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3).
58. Мартиненко, В. О. (2022). Застосування лазерного сканування в землеустрої.
- а. Мироненко, М. Геоінформаційне забезпечення розмінування територій Харківської області [Текст] / М. Мироненко, С. Нестеренко, А. Рай, О. Фролов // Містобудування та територіальне планування. – 2023. – № 81. – С. 56–63.
59. 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. URL: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-1-24>.

60. 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.

61. Петренко, А. І. Застосування GNSS-технологій високої точності для навігації роботизованих комплексів розмінування [Текст] / А. І. Петренко, М. В. Сидоренко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2024. – Вип. II (47). – С. 78–85.

62. Петренко, І.П. Автоматизація процесів землеустрою за допомогою ГІС. Київ: Видавництво "Геоінформ".

63. Рожі І., Рожі Т., Федій О. Геодезичні аспекти створення цифрових моделей рельєфу для потреб геоінформаційних систем. Просторовий розвиток. 2024. (8). С. 477–491. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.477-491>.

64. С.М. Андреев, В.А. Жилін. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості.

65. Сеітов, С. Ю. (2021). Особливості використання безпілотних літальних апаратів для виконання робіт у землеустрої. Тези доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції НПП та молодих науковців «Актуальні аспекти розвитку науки і освіти», 275.

66. 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.

67. Стичук Д. П. БПЛА у землеустрої та кадастрі: сучасні підходи до аерознімання. 2021. URL: <https://ir.library.knu.ua/entities/publication/0bd45cac-5818-4df5-8c10-81dc340ce313>

68. Стичук Д. П. Особливості використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в землеустрої та кадастрі : кваліфікаційна робота. Київ, 2021. URL: <https://ir.library.knu.ua/entities/publication/0bd45cac-5818-4df5-8c10-81dc340ce313>

69. Стрельченко М. С. Удосконалення нормативно-правових засад створення топографо-геодезичної основи з використанням БПЛА. Магістерська робота. НУБіП, 2022. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/items/19c0b052-2891-4552-853c-819a7dc55cdc>
70. Цицухов Д.А. Виконання топографо-геодезичних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів. Геодезія та землеустрій, 7.
71. 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. URL: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>.
72. Ю.П. Губар. Застосування проблемно-орієнтованих ГІС-технологій для цілей кадастрової оцінки нерухомості.
73. Як лазерне сканування допомагає Україні у війні та відновленні – AIN.UA. <https://ain.ua/2022/05/27/yak-lazerne-skanuvannya-mozhe-dopomogty-u-vijni-v-ukrayini/>

ДОДАТКИ

Додаток А

Ортофотоплан сільськогосподарських угідь із нанесеними межами
ділянок



Результат аерофотознімання господарського комплексу



Ортофотоплан території розміщення тимчасових споруд

