

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет землевпорядкування

УДК _____

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету
землевпорядкування
(назва факультету)
к.е.н.доц. Шевченко О.В.
(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
геодезії та картографування
(назва кафедри)
д.е.н., проф. Євсюков Т.О.
(підпис) (ПІБ)
“ ” _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ДЛЯ ОБЛІКУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ
ПОЗА МЕЖАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ»**

Спеціальність – G 18 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма – «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.е.н., професор

_____ Андрій МАРТИН
(підпис)

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

к.с.-г.н., доцент

_____ В'ячеслав БОГДАНЕЦЬ
(підпис)

Виконав

_____ Іван ВЕРЕЩАК
(підпис)

Київ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
геодезії та картографії
д.г.н., проф. _____ І.П. Ковальчук
«__» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ СТУДЕНТУ
Верещак Іван Валерійович

Спеціальність G 18 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Застосування БПЛА для обліку використання земель поза межами населених пунктів» затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» листопада 2024 року № 2062 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру за 10 днів початку роботи ЕК.

Вихідні дані до магістерської роботи: Законодавча та нормативно-правова база України, що регламентує здійснення аерофотозйомки та ведення Державного земельного кадастру, наукові публікації й методична література з питань використання безпілотних літальних апаратів, дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій, матеріали аерофотозйомки території поблизу села Комишувате Рівненської територіальної громади Кіровоградської області, отримані за допомогою БПЛА DJI Mavic 3 Multispectral, супутникові знімки Sentinel-2 із програми Copernicus Open Access Hub, дані фотограмметричної обробки в програмі Pix4Dfields, цифрові моделі місцевості та рельєфу, атрибутивні дані з Публічної кадастрової карти України, результати обробки та

класифікації землекористування, виконані у середовищі QGIS, а також довідкові геопросторові матеріали, що містять межі громад, кадастрові ділянки та інші відкриті геодані.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виконати аерофотозйомку території поза межами населеного пункту за допомогою безпілотної літальної апаратури.

2. Створити ортофотоплан і цифрову модель місцевості (ЦММ) з високою просторовою роздільною здатністю.

3. Провести обробку супутникових знімків Sentinel-2 у середовищі QGIS для визначення фактичного використання земель.

4. Провести порівняльний аналіз фактичних даних із кадастровими відомостями.

5. Оцінити точність та ефективність отриманих моделей, визначити середні похибки й узагальнити результати дослідження

Дата видачі завдання «10» грудня 2024 року

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи _____

В'ячеслав БОГДАНЕЦЬ

Завдання прийняв до виконання _____

Іван ВЕРЕЩАК

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	3
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	
СТУДЕНТУ.....	3
РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАВОВІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА.	
12	
1.1. Поняття безпілотного літального апарата: класифікація, принципи дії та характеристики.....	12
1.2. Нормативно-правове регулювання та використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в умовах воєнного стану у 2025 році.....	17
1.3. Умови використання БПЛА під час воєнного стану.....	21
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА У	
ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ.....	27
2.1. Світовий досвід застосування БПЛА для моніторингу земель.....	27
2.2. Застосування БПЛА для виявлення змін у землекористуванні.....	31
2.3. Переваги та обмеження БПЛА у землевпорядній діяльності.....	35
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ТА СУПУТНИКОВИХ	
ДАНИХ ДЛЯ ОБЛІКУ ЗЕМЕЛЬ ПОЗА МЕЖАМИ НАСЕЛЕНИХ	
ПУНКТІВ.....	42
3.1. Вихідні дані та вибір об'єкта дослідження.....	42
3.2. Застосування безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Multispectral для збору та обробки аерофотознімків.....	46
3.3 Обробка аерофотознімків супутникових даних у програмі QGIS для створення карт фактичного землекористування та проведення обліку земель поза межами населених пунктів.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	56
ДОДАТКИ.....	61

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Застосування БПЛА для обліку використання земель поза межами населених пунктів» присвячена дослідженню можливостей використання безпілотних літальних апаратів у поєднанні з геоінформаційними технологіями для підвищення точності та ефективності обліку земельних ресурсів. Такі технології стають невід'ємною частиною сучасного землеустрою, адже дають змогу оперативно отримувати просторові дані, оновлювати кадастрову інформацію та контролювати реальний стан територій.

Метою роботи є практичне дослідження застосування БПЛА та супутникових знімків у програмному середовищі QGIS для створення актуальних карт фактичного землекористування. У роботі розглянуто технічні й правові аспекти використання безпілотних систем у сфері землевпорядкування та їхнє значення для підвищення точності кадастрових даних.

Практичне дослідження проведено на прикладі території поблизу села Комишувате Рівненської територіальної громади Кіровоградської області. Виконано аерофотозйомку за допомогою DJI Mavic 3 Multispectral, створено ортофотоплан і цифрову модель місцевості, а також опрацьовано супутникові знімки Sentinel-2 у QGIS. Отримані матеріали інтегровано в єдиний геоінформаційний проект, що дозволило порівняти фактичне та зареєстроване використання земель.

Результати підтвердили ефективність використання БПЛА у поєднанні з ГІС-технологіями для точного та оперативного обліку земель поза межами населених пунктів. Такий підхід сприяє підвищенню достовірності кадастрових даних, поліпшенню моніторингу земель і формуванню сучасної системи управління територіями на рівні громад.

Ключові слова:

Безпілотний літальний апарат — це повітряний засіб, який здійснює політ без пілота на борту та може керуватися дистанційно або автономно. У землевпорядкуванні БПЛА використовуються для аерофотозйомки, створення ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу та збору просторових даних із високою точністю.

Дистанційне зондування Землі — це метод отримання інформації про поверхню планети без безпосереднього контакту з нею, шляхом фіксації відбитого або випроміненого випромінювання. У межах землевпорядкування та геодезії ДЗЗ застосовується для моніторингу землекористування, оцінки стану ґрунтів і створення тематичних карт за допомогою дронів та супутників.

Ортофотоплан — це фотозображення місцевості, яке приведене до єдиної масштабності та позбавлене перспективних спотворень. Він створюється на основі аерофотознімків, отриманих БПЛА, та використовується для визначення меж земельних ділянок, аналізу їх фактичного використання та підготовки кадастрових матеріалів.

Геоінформаційні системи — це програмно-апаратні комплекси, призначені для збирання, зберігання, аналізу та візуалізації просторових даних. У межах твоєї теми ГІС (зокрема, QGIS) використовуються для обробки супутникових і аерофотознімків, векторизації контурів земель та створення карт фактичного землекористування.

Облік земель — це систематизований процес збирання, оновлення та узагальнення даних про кількість, розташування, правовий статус і фактичне використання земельних ділянок. Застосування БПЛА забезпечує підвищення точності цього обліку за рахунок оперативного отримання актуальних геопросторових даних.

Кадастровий моніторинг — це постійне спостереження за змінами у складі, стані та використанні земель, які зареєстровані в Державному земельному кадастрі. Використання БПЛА і супутникових даних дозволяє автоматизувати цей процес і швидко виявляти невідповідності між фактичним і задекларованим землекористуванням.

Фактичне землекористування — це реальний стан і спосіб використання земельної ділянки, незалежно від її цільового призначення, визначеного в документах. Визначення фактичного землекористування за допомогою БПЛА та ГІС дозволяє оцінити відповідність даних кадастру реальній ситуації на місцевості.

ВСТУП

У сучасну епоху стрімкого розвитку цифрових технологій безпілотні літальні апарати (БПЛА) поступово перетворилися на один із найефективніших інструментів у різних сферах діяльності людини — від військово-промислового комплексу до цивільного використання. Особливу популярність дрони отримали у геодезії, картографії, землевпорядкуванні, сільському та лісовому господарстві, а також у сфері моніторингу навколишнього середовища. Їхні ключові переваги — висока точність, мобільність, швидкість отримання результатів і можливість дистанційного збору даних — роблять БПЛА надзвичайно ефективним засобом для сучасних землевпорядних та дослідницьких робіт, де важливими є точність, оперативність і економічність.

Магістерська робота присвячена дослідженню практичних можливостей використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для ведення обліку та моніторингу земель, розташованих поза межами населених пунктів України. Такий підхід є надзвичайно важливим у сучасних умовах, адже дає змогу своєчасно виявляти випадки самовільного зайняття земельних ділянок, порушення меж користування або невідповідність фактичного використання землі її цільовому призначенню. Окрім того, застосування дронів у системі земельного моніторингу відкриває нові можливості для органів місцевого самоврядування та громад, забезпечуючи ефективніше управління земельними ресурсами, підвищення прозорості землекористування й раціональне планування територій.

У межах магістерської роботи розглядається класифікація безпілотних літальних апаратів, аналізуються їх основні технічні характеристики та сфери застосування у землевпорядній діяльності. Окрему увагу приділено законодавчим, нормативним і організаційним аспектам використання дронів під час проведення геодезичних і

кадастрових робіт. Практична частина дослідження присвячена реальному прикладу використання БПЛА для дослідження та обліку земельної території, розташованої поблизу села Комишувате Рівненської територіальної громади Кіровоградської області. У роботі детально описано етапи збору, обробки та аналізу отриманих матеріалів, що підтверджує ефективність застосування дронів у землевпорядній практиці.

Основною метою магістерської роботи є дослідження можливостей використання сучасних геоінформаційних технологій для обліку та моніторингу земель, розташованих за межами населених пунктів. Особливу увагу приділено застосуванню супутникових знімків і програмного середовища QGIS для створення точних карт і планів територій з високою роздільною здатністю. Робота спрямована на вивчення методів аналізу змін у землекористуванні, перевірку точності отриманих результатів і визначення практичної ефективності використання відкритих супутникових даних у землевпорядній діяльності. У ході дослідження зроблено акцент на розробленні практичних рекомендацій щодо впровадження технологій дистанційного зондування та геоінформаційних систем у процес управління земельними ресурсами територіальних громад.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАВОВІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА

1.1. Поняття безпілотного літального апарата: класифікація, принципи дії та характеристики

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), або дрони, — це сучасні аерокосмічні системи, здатні виконувати польоти без безпосередньої присутності пілота на борту. Управління такими апаратами може здійснюватися дистанційно оператором або повністю автономно завдяки вбудованим навігаційним системам, автопілоту й спеціалізованому програмному забезпеченню [1]. Завдяки поєднанню цих технологій дрони відзначаються високою точністю, маневровістю та оперативністю у виконанні різних типів завдань. Їх застосування охоплює широкий спектр сфер — від геодезії, картографії та сільського господарства до екологічного моніторингу, інженерних обстежень і рятувальних операцій. Таким чином, БПЛА стали універсальним інструментом, що поєднує функціональність, економічність і технологічну гнучкість, роблячи процес збору просторових даних швидшим і доступнішим, ніж будь-коли раніше.

Сфера застосування безпілотних літальних апаратів сьогодні є надзвичайно широкою й охоплює практично всі напрями діяльності, де необхідне оперативне отримання просторової інформації. Зокрема, БПЛА активно використовуються у геодезії та картографії, для моніторингу стану земель і природних ресурсів, у сільському та лісовому господарстві, під час екологічних спостережень, археологічних досліджень, логістичних операцій, а також для контролю інфраструктурних об'єктів і забудови територій [2]. Основною перевагою таких систем є можливість швидкого збору актуальних і високоточних даних із великої площі, що раніше потребувала значних людських і часових ресурсів. За допомогою БПЛА можна отримати аерофотознімки високої роздільної здатності, створити

цифрові моделі рельєфу, ортотрансформовані плани місцевості, а також тематичні NDVI-карти, які відображають стан рослинності та ґрунтового покриву. Це відкриває нові можливості для глибокого аналізу територій і прийняття обґрунтованих управлінських рішень.



Рис.1.1.1 – Мультироторний БПЛА DJI Phantom 4 RTK

До основних технічних характеристик безпілотних літальних апаратів, які визначають їх функціональні можливості та сферу практичного застосування, належать кілька ключових параметрів.

Перш за все — розмір і вага апарата, що безпосередньо впливають на його маневровість, стійкість у польоті, тривалість перебування в повітрі та відповідність чинним нормативним вимогам. Важливим показником є час польоту, який залежить від типу акумуляторної батареї, енергоспоживання системи та умов експлуатації. Не менш суттєвими є дальність зв'язку та польоту, що визначають радіус дії оператора та дозволяють планувати масштаби зйомки або моніторингу територій. До цього переліку додається максимальна висота польоту, від якої залежать кути огляду та роздільна здатність отриманих зображень. Особливу роль відіграє тип сенсорного обладнання, встановленого на дроні: RGB-камери, мультиспектральні сенсори, інфрачервоні модулі або LiDAR-сканери. Саме вони забезпечують збір даних різного типу — від візуальних знімків до детальних цифрових

моделей рельєфу.

Окремо слід зазначити наявність систем геоприв'язки, зокрема GPS-, RTK- або РРК-навігації, які підвищують точність просторових вимірювань і дозволяють поєднувати результати аерофотозйомки з геоінформаційними системами [3].

Для ефективного використання БПЛА важливо враховувати їх класифікацію, що здійснюється за низкою технічних і функціональних критеріїв (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація безпілотних літальних апаратів

Критерій	Класифікація	Приклади
За масою	Легкі (до 2 кг), Середні (2–150 кг), Важкі (>150 кг)	DJI Mini 3 Pro, DJI Matrice 300
За висотою польоту	Низькі (<500 м), Середні (500 м – 5 км), Високі (>5 км)	Агродрони, метеорологічні БПЛА
За дальністю польоту	Короткодійні (<10 км), Середньодальні (10–200 км), Дальні (>200 км)	WingtraOne, UAV Factory
За типом конструкції	Мультикоптери, Літакового типу, Гібриди	DJI Phantom, eBee X, Quantum Trinity

Вибір безпілотного літального апарата значною мірою залежить від поставлених завдань, особливостей рельєфу місцевості, вимог до точності вимірювань і необхідного обсягу зібраної інформації. У практиці землевпорядкування важливо правильно поєднати технічні характеристики дрона з умовами виконання робіт. Наприклад, під час проведення зйомок на невеликих або складних за рельєфом ділянках доцільно використовувати мультикоптери, оскільки вони відзначаються високою стабільністю польоту, точним позиціонуванням і здатністю виконувати зйомку з малих висот. Такі апарати особливо ефективні для створення детальних ортофотопланів чи тривимірних моделей місцевості.

Натомість дрони літакового типу мають більшу дальність польоту, значний

радіус охоплення території та здатні працювати довше без підзарядки, що робить їх оптимальними для масштабних аерофотозйомок і моніторингу великих площ [4]. Таким чином, правильний підбір типу БПЛА забезпечує баланс між точністю, швидкістю зйомки та економічною доцільністю виконання робіт.



Рис. 1.1.2 – БПЛА літакового типу “Скіф”

Отже, впровадження безпілотних технологій у практику землевпорядкування відкриває широкі можливості для вдосконалення процесів збору, обробки та аналізу просторової інформації. Використання БПЛА дає змогу суттєво підвищити якість аерофотозйомки, скоротити терміни виконання робіт і зменшити витрати матеріальних ресурсів. Крім того, автоматизація процесів отримання даних забезпечує більш точне відображення реального стану землекористування, що є необхідною умовою для ефективного управління територіями. Таким чином, безпілотні літальні апарати посідають важливе місце у складі сучасного цифрового

інструментарію землевпорядника та стають невід'ємною частиною подальшої цифрової трансформації галузі.

1.2. Нормативно-правове регулювання та використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в умовах воєнного стану у 2025 році

У 2025 році використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Україні набуло особливого значення, зважаючи на тривалу фазу повномасштабної війни та одночасне активне впровадження дронів у різні цивільні галузі. Безпілотники сьогодні застосовуються не лише у військових цілях, а й у таких сферах, як агровиробництво, геодезія, кадастрова зйомка, екологічний моніторинг, журналістика, будівництво та інженерні обстеження. Їхня мобільність, точність і здатність оперативно збирати дані зробили дрони незамінним інструментом як для державних установ, так і для приватного сектору. Разом із тим, широке поширення безпілотних технологій потребує чіткої нормативно-правової бази, що визначає правила їх використання, особливо в умовах воєнного стану. Саме державне регулювання дозволяє забезпечити баланс між безпекою повітряного простору, військовими потребами та можливістю застосування дронів у цивільних і наукових цілях.

Правові засади функціонування безпілотних літальних апаратів в Україні визначаються низкою основоположних нормативно-правових документів, що регулюють порядок використання повітряного простору, вимоги до реєстрації апаратів та правила безпечного виконання польотів. Перш за все, базовим документом є Повітряний кодекс України, зокрема його стаття 38, де зазначено, що всі повітряні судна, у тому числі безпілотні, підлягають державній реєстрації у випадку, якщо їхня злітна маса перевищує 20 кілограмів. Кодекс також закріплює загальні принципи повітряного права, серед яких — забезпечення безпеки польотів,

державний контроль за використанням повітряного простору та визначення відповідальності за його порушення [5].

Важливе значення мають Авіаційні правила України щодо використання повітряного простору, затверджені наказом Державіаслужби № 430 від 15 травня 2017 року. У цих правилах окреслено порядок виконання польотів безпілотників, встановлено класифікацію БПЛА за технічними характеристиками, обмеження щодо висоти польоту, визначено зони заборони та спеціального контролю. Документ також передбачає обов'язок операторів дотримуватися мінімальних відстаней до людей, будівель, інженерних і стратегічних об'єктів [6].

Додаткові вимоги до експлуатації малогабаритних дронів визначає наказ Державіаслужби № 683 від 2 грудня 2020 року, який деталізує порядок використання БПЛА масою до 20 кг. Цей документ дозволяє фізичним і юридичним особам здійснювати польоти без необхідності сертифікації апаратів, але за умови дотримання встановлених обмежень — зокрема, заборони польотів над населеними пунктами, інфраструктурними об'єктами та прикордонними територіями [7].

Із запровадженням воєнного стану на території України порядок використання безпілотних літальних апаратів зазнав суттєвих змін. З метою забезпечення національної безпеки та недопущення витоку інформації про розташування військових або стратегічних об'єктів, правила експлуатації дронів були істотно посилені. У більшості регіонів країни, а особливо в прифронтових областях, запроваджено повну або часткову заборону на цивільне використання БПЛА. Дозвіл на польоти можуть отримувати лише спеціально акредитовані користувачі — представники підприємств, організацій чи наукових установ, діяльність яких погоджена з Генеральним штабом Збройних Сил України або відповідними обласними військовими адміністраціями (ОВА). Такий підхід покликаний мінімізувати ризики використання безпілотників у

розвідувальних чи диверсійних цілях та забезпечити контрольований доступ до повітряного простору для виконання лише офіційно дозволених завдань.

Відповідно до наказів Генерального штабу Збройних Сил України та рішень місцевих військових адміністрацій, у період дії воєнного стану запроваджено обов'язкову процедуру погодження кожного польоту безпілотного літального апарата — незалежно від його типу, ваги чи призначення. Така вимога спрямована на запобігання несанкціонованому використанню дронів, яке може створювати ризики для безпеки військових операцій, а також на уникнення випадків перехоплення сигналів чи помилкової ідентифікації апарата підрозділами протиповітряної оборони ЗСУ.

У 2024 році в Україні запроваджено спеціальну державну платформу «Аеророзвідка», призначену для централізованої координації та погодження польотів безпілотних літальних апаратів. Через цю систему оператори подають заявку із зазначенням мети польоту, точних координат, часу виконання завдання, висоти польоту та типу дрона. Після подання інформації заявка проходить узгодження з Генеральним штабом Збройних Сил України, відповідною обласною військовою адміністрацією (ОВА) та підрозділами Сил протиповітряної оборони (ППО) [8]. Такий порядок дозволяє забезпечити повний контроль над повітряним простором і запобігти несанкціонованому використанню дронів.

Порушення встановлених правил тягне за собою відповідальність згідно з чинним законодавством.

- Адміністративна відповідальність передбачена статтею 164 Кодексу України про адміністративні правопорушення, що стосується порушення порядку здійснення господарської діяльності.

- Кримінальна відповідальність встановлена статтею 114-2 Кримінального кодексу України — у випадках, коли політ або поширення

інформації, отриманої з БПЛА, може призвести до розкриття місць розташування українських військових частин або завдати шкоди національній безпеці [9].

У період воєнного стану безпілотні літальні апарати використовуються як у військовій, так і в цивільній сферах.

- У військовому секторі дрони виконують широкий спектр завдань — від аеророзвідки, коригування артилерійського вогню й спостереження за пересуванням противника до доставки вантажів і здійснення точкових ударів. Найбільш поширеними моделями залишаються DJI Mavic 3, Autel Evo II, а також FPV-дрони, які адаптовано для виконання спеціальних бойових місій.

- Громадські організації та волонтерські об'єднання беруть активну участь у забезпеченні військових дронами, навчанні операторів, технічному обслуговуванні й модернізації обладнання, діючи під контролем уповноважених структур Збройних Сил України.

- Цивільне використання БПЛА, хоча й суттєво обмежене, все ж дозволяється у випадках, коли польоти мають господарське або науково-дослідне значення. Так, агропідприємства продовжують застосовувати дрони для моніторингу стану посівів, аналізу індексу вегетації (NDVI), внесення засобів захисту рослин, а також для оцінки врожайності — виключно в межах погоджених дозволів і за умови попереднього узгодження маршрутів польоту з військовими структурами.

Станом на 2025 рік в Україні сформовано цілісну систему нормативно-правового регулювання експлуатації безпілотних літальних апаратів. Її особливістю є поєднання гнучкого підходу для мирного використання дронів у господарських, наукових і освітніх цілях із жорстким контролем у районах ведення бойових дій. Така модель дозволяє одночасно забезпечити безпеку держави та створити умови для подальшого розвитку інноваційних технологій у цивільному секторі.

Безпілотники нині є не лише ключовим елементом у військових операціях, а й важливим інструментом у сферах аграрного виробництва, геодезії, картографії, екологічного моніторингу та управління земельними ресурсами. Їхнє застосування сприяє підвищенню точності польових робіт, скороченню витрат і переходу України до сучасних стандартів цифрового управління територіями. Подальший розвиток законодавства у сфері використання БПЛА має бути спрямований на пошук оптимального балансу між безпекою, ефективністю та інноваційністю, а також на спрощення процедур отримання дозволів для цивільного сектору в межах чітко визначених регламентів.

1.3. Умови використання БПЛА під час воєнного стану

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють надзвичайно важливу роль у сучасних військових конфліктах, ставши одним із ключових інструментів тактичного та стратегічного рівня. В умовах воєнного стану в Україні їх застосування набуло особливого значення, оскільки дрони дозволяють ефективно виконувати широкий спектр завдань — від повітряної розвідки та моніторингу пересування противника до коригування артилерійського вогню, пошуку цілей і навіть доставки вантажів у складних умовах.

Разом із тим, у наслідок високої стратегічної цінності інформації, яку здатні отримувати безпілотники, та потенційних ризиків несанкціонованого використання, держава запровадила суворі правила їх експлуатації. Будь-який політ дрона, незалежно від його технічних характеристик чи мети, має здійснюватися виключно за умови попереднього погодження з військовими адміністраціями та Генеральним штабом Збройних Сил України. Це необхідно для запобігання витоку конфіденційних даних, уникнення перехресного використання повітряного простору та захисту військових об'єктів від потенційних загроз.

Таким чином, використання БПЛА в умовах воєнного стану стало не лише технічним, а й правовим питанням, яке вимагає чіткої координації між військовими, цивільними структурами та операторами дронів.

Згідно з Повітряним кодексом України та низкою нормативних документів Державної авіаційної служби, використання безпілотних літальних апаратів у період дії воєнного стану розглядається як потенційний ризик для національної безпеки. У зв'язку з цим усі польоти дронів підлягають обов'язковій координації з військовими структурами та відповідними державними органами [11]. Такий підхід дозволяє забезпечити контроль за повітряним простором, мінімізувати можливість випадкового втручання у військові операції та запобігти передачі конфіденційних даних третім особам.

Нормативно-правова база, що регулює використання безпілотних літальних апаратів у період воєнного стану, охоплює низку ключових документів, які визначають правила експлуатації, порядок реєстрації та відповідальність операторів. До основних із них належать:

- Закон України «Про правовий режим воєнного стану», який визначає особливий порядок користування повітряним простором і встановлює обмеження, спрямовані на забезпечення національної безпеки та обороноздатності держави [10];

- Накази Державної авіаційної служби України, що регламентують процедури реєстрації безпілотників, порядок їх технічного допуску до польотів, а також вимоги до осіб, які здійснюють управління апаратами [10];

- Тимчасові розпорядження Генерального штабу Збройних Сил України та обласних військових адміністрацій (ОВА), які визначають зони, повністю закриті для польотів, та регламентують порядок погодження кожного запуску БПЛА [10].

Усі цивільні польоти без попереднього узгодження з відповідними органами заборонені. Залежно від оперативної обстановки можуть діяти додаткові обмеження:

- повна заборона польотів у межах встановлених заборонених зон, зокрема над військовими частинами, стратегічними об'єктами, енергетичною інфраструктурою та населеними пунктами, розташованими поблизу лінії фронту [12];

- обмеження висоти польоту та радіусу дії дронів, що регулюються в режимі реального часу військовими структурами залежно від рівня загрози [12];

- обов'язкова додаткова реєстрація операторів, а також отримання спеціального дозволу або погодження на кожен політ з урахуванням координат, мети місії та типу безпілотної [12].

Такі правила дозволяють запобігти випадкам несанкціонованого використання дронів, зменшити ризик перехоплення сигналів і мінімізувати загрози для військових підрозділів, що діють у зоні бойових дій.

Усі безпілотні літальні апарати, що виконують польоти в умовах воєнного стану, мають бути обладнані засобами ідентифікації, які дозволяють контролюючим органам відстежувати їхнє місцезнаходження в реальному часі. Така обов'язкова вимога підвищує прозорість польотів і спрощує процедури контролю за повітряним простором у зоні підвищеної ризикованості.

Перед виконанням польоту оператор повинен подати детальну заявку, у якій вказуються маршрут, час виконання, технічні характеристики апарата та мета місії. Заявки розглядаються відповідними військовими адміністраціями з урахуванням поточної оперативної обстановки й безпекових вимог. Лише після отримання офіційного погодження політ вважається дозволеним.

У разі, коли дрон застосовується в аграрних, наукових або гуманітарних цілях, виконання рейсу можливе тільки після підтвердження безпеки операції з боку військових органів. Оператори зобов'язані суворо дотримуватися встановлених регламентів: виконувати погоджений маршрут, негайно повідомляти про будь-які інциденти або зміни у плані польоту, а також діяти у межах наданих дозволів. Такий порядок мінімізує ризики випадкового втручання в військові операції та знижує ймовірність інцидентів.

Військові підрозділи широко використовують БПЛА для виконання розвідувальних і тактичних завдань: повітряна розвідка, спостереження за переміщенням противника, коригування артилерійського вогню, а також доставка вантажів у складні або ізольовані райони. Для цих потреб застосовуються як малі тактичні платформи, так і більш потужні розвідувальні комплекси, що мають великий радіус дії та розвинені сенсорні системи.

Оператори військових безпілотників проходять спеціалізовану підготовку і безпосередньо підпорядковуються військовому командуванню. Вони працюють у рамках єдиної інформаційно-оперативної картини, маючи доступ до актуальної обстановки і координуючи свої дії з іншими підрозділами оборони. Така інтеграція забезпечує високий рівень оперативності та безпеки під час виконання бойових завдань.

Незаконне використання безпілотних літальних апаратів у період воєнного стану розцінюється як серйозне порушення законодавства України. Будь-який політ, здійснений без належного погодження або всупереч встановленим правилам, може становити потенційну загрозу для національної безпеки, військових об'єктів чи цивільного населення.

За такі дії передбачена адміністративна та кримінальна відповідальність, залежно від ступеня порушення:

- Адміністративна відповідальність передбачає накладення штрафів на осіб, які використовують дрони без дозволу, не дотримуються правил безпеки польотів або порушують умови експлуатації;

- Кримінальна відповідальність настає у випадках, коли незаконне використання БПЛА призвело до розголошення військової або державної таємниці, передачі координат стратегічних об'єктів, або створило реальну загрозу життю та здоров'ю людей.

Такі порушення можуть кваліфікуватися відповідно до статті 114-2 Кримінального кодексу України, що передбачає покарання за несанкціоноване поширення інформації про переміщення чи розташування Збройних Сил України або інших військових формувань. Законодавство України встановлює суворі санкції за порушення правил використання безпілотних літальних апаратів у період воєнного стану, адже подібні дії можуть становити пряму загрозу національній безпеці. Незаконні польоти здатні не лише перешкоджати виконанню військових операцій, а й призвести до витоку стратегічно важливої інформації, що потенційно послаблює обороноздатність держави та створює ризики для життя цивільного населення.

У відповідь на зростання військової загрози в Україні було впроваджено комплекс технічних засобів протидії несанкціонованим безпілотним літальним апаратам, серед яких особливе місце займають системи радіоелектронної боротьби (РЕБ). Такі системи здатні виявляти, блокувати або перехоплювати сигнали керування дронами, змушуючи їх втрачати контакт з оператором, змінювати траєкторію польоту, переходити у безпечний режим або здійснювати примусове приземлення. Використання РЕБ є одним із найефективніших способів захисту стратегічних об'єктів, військових баз та інфраструктурних споруд від потенційних загроз з боку ворожих або несанкціонованих безпілотників.

Подальше вдосконалення нормативно-правової бази щодо використання безпілотних літальних апаратів в Україні, з урахуванням досвіду 2022–2025 років, має ґрунтуватися на кількох ключових напрямках:

- створенні більш гнучких, але водночас безпечних процедур для цивільних користувачів дронів, що дозволить ефективніше застосовувати їх у сільському господарстві, геодезії, екологічному моніторингу та інших галузях;

- впровадженні сучасних технологій автоматичної ідентифікації та трекінгу БПЛА, які забезпечуватимуть оперативний контроль польотів без надмірного адміністративного навантаження;

- удосконаленні системи підготовки операторів дронів із наголосом на дотриманні вимог безпеки, координації з військовими структурами та належному реагуванні на надзвичайні ситуації.

Таким чином, умови використання БПЛА під час воєнного стану визначаються необхідністю поєднати активне застосування безпілотників у різних сферах із гарантуванням національної безпеки. Збереження цього балансу є ключовим чинником ефективного розвитку технологій дронів в Україні у післявоєнний період.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА У ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ

2.1. Світовий досвід застосування БПЛА для моніторингу земель

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) за останні роки стали одним із ключових інструментів у сфері моніторингу земельних ресурсів та оцінки стану довкілля. Їхнє широке впровадження пояснюється поєднанням мобільності, доступної вартості в порівнянні з традиційною авіаційною або супутниковою зйомкою, а також здатністю забезпечувати отримання високодеталізованих даних у короткі терміни. Значного поширення технологія набула завдяки розвитку систем дистанційного зондування Землі, вдосконаленню сенсорних модулів, навігаційних комплексів і програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати процеси збору, обробки та аналізу просторової інформації [15]. Сьогодні дрони активно застосовуються в більшості країн світу — як у державному секторі для здійснення земельного моніторингу, кадастрового обліку чи контролю за станом інфраструктури, так і в приватному секторі, зокрема в аграрному виробництві, лісовому господарстві та екологічних дослідженнях. Ефективність БПЛА полягає у можливості оперативно відстежувати зміни на великих територіях, отримуючи актуальні дані з високою точністю навіть у складних природних умовах.

У розвинених країнах світу, таких як США, Китай, Ізраїль та держави Європейського Союзу, безпілотні літальні апарати вже стали невід'ємною частиною системи моніторингу та контролю за використанням земельних ресурсів. За даними дослідження Ласовецького (2023), дрони у цих країнах активно використовуються для створення високо деталізованих аерофотознімків, що забезпечують можливість глибокого аналізу стану ґрунтів, оцінювання рівня вологості, виявлення

ерозійних процесів і моніторингу змін у лісових екосистемах. Крім того, з їх допомогою здійснюється перевірка цільового використання земель сільськогосподарського призначення та контроль за дотриманням меж землекористування [15]. Завдяки оперативності збору даних і високій просторовій точності такі технології дозволяють своєчасно виявляти проблемні ділянки, порушення у сфері землекористування або нецільове використання земель, що значно підвищує ефективність державного контролю та сприяє раціональному управлінню природними ресурсами.

Порівняно з традиційними методами збору просторової інформації, використання безпілотних літальних апаратів дозволяє суттєво зменшити фінансові витрати та скоротити час виконання робіт. Якщо класичні топографо-геодезичні або аерофотозйомки з використанням пілотованих літальних апаратів потребують значних матеріальних ресурсів і залучення великої кількості персоналу, то дрони забезпечують швидке й ефективно отримання даних навіть у складних умовах місцевості. Сучасні БПЛА обладнані високоякісними камерами, мультиспектральними й інфрачервоними сенсорами, GPS-навігаційними системами та автопілотами, що робить їх універсальними засобами для виконання широкого кола завдань. Вони можуть застосовуватись не лише для землевпорядних і кадастрових робіт, а й для моніторингу стану посівів, оцінки рівня вологості, створення цифрових моделей рельєфу та аналізу екологічного стану територій [16]. Завдяки цьому БПЛА стають ефективним інструментом не лише для наукових досліджень, а й для практичного управління земельними ресурсами.

У Сполучених Штатах Америки одним із ключових напрямів застосування безпілотних літальних апаратів є створення детальних карт ґрунтових покривів і проведення моніторингу їхнього стану. За допомогою дронів здійснюється спостереження за процесами ерозії, засоленості, зволоження та вмісту поживних речовин у ґрунті, що дає змогу оперативно

оцінювати продуктивність земель і планувати агротехнічні заходи. Окрім цього, БПЛА активно використовуються для виявлення фактів незаконного або нецільового використання земель, що сприяє підвищенню рівня контролю, прозорості та обґрунтованості управлінських рішень у сфері землекористування [17].

У Китаї, де питання деградації земель, ерозійних процесів і забруднення навколишнього середовища стоїть особливо гостро, безпілотні літальні апарати стали одним із основних інструментів державного екологічного моніторингу. Вони активно використовуються для контролю якості водних ресурсів, спостереження за лісовими пожежами, оцінки масштабів вирубки лісів і моніторингу процесів рекультивациі порушених територій. Завдяки високій швидкості збору даних і можливості роботи в реальному часі такі системи забезпечують оперативне реагування державних органів на екологічні виклики, сприяють оптимізації природоохоронних заходів і підвищенню ефективності управління станом довкілля [18].

В Ізраїлі безпілотні літальні апарати є невід'ємною складовою системи високотехнологічного та ресурсоефективного сільського господарства. Використання мультиспектральних камер дає змогу фермерам своєчасно виявляти зони стресу рослин, оцінювати рівень вологості ґрунту, стан живлення культур і своєчасно вносити корективи у систему зрошення чи підживлення. Завдяки цьому забезпечується раціональне використання водних і мінеральних ресурсів, підвищується ефективність агровиробництва та загальна врожайність. Крім того, ізраїльські розробники активно інтегрують БПЛА з алгоритмами штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє автоматизувати процес обробки даних, проводити точний агроаналіз і значно скорочувати час прийняття управлінських рішень [19]. Такий підхід зробив Ізраїль одним із світових лідерів у впровадженні технологій точного землеробства.

У країнах Європейського Союзу, зокрема в Німеччині, Франції та Іспанії, безпілотні літальні апарати активно використовуються для моніторингу стану лісових масивів, відстеження змін рельєфу та виконання екологічних програм у сфері сільського господарства. Завдяки високій точності вимірювань дрони дозволяють своєчасно виявляти зони деградації ґрунтів, наслідки ерозійних процесів або незаконної вирубки лісів. Особливе значення в європейській практиці має інтеграція БПЛА з геоінформаційними системами (ГІС), що створює умови для ефективного управління земельними ресурсами на різних рівнях — від локального (громад та муніципалітетів) до національного. Такий підхід сприяє реалізації політики сталого землекористування, підтриманню екологічного балансу та підвищенню прозорості в системі кадастрового обліку [20].

Важливою особливістю сучасних технологій моніторингу є інтеграція даних, отриманих із різних джерел, зокрема безпілотних літальних апаратів, супутникових знімків, наземних сенсорних станцій та мобільних додатків. Таке поєднання забезпечує формування багаторівневої системи спостереження, яка дає змогу отримувати більш точну та достовірну інформацію про стан земель, водних ресурсів і рослинного покриву.

Синхронізація аерознімків із супутниковими даними дозволяє проводити детальний аналіз просторових змін, виявляти динаміку деградаційних процесів і комплексно оцінювати екологічну ситуацію на великих територіях. Завдяки такому підходу підвищується оперативність прийняття управлінських рішень і ефективність контролю за використанням природних ресурсів [21].

Узагальнюючи міжнародний досвід, можна стверджувати, що застосування безпілотних літальних апаратів у моніторингу земельних ресурсів має надзвичайно високий потенціал. Використання дронів забезпечує високу точність, оперативність і регулярність збору

геопросторових даних, дозволяє проводити обстеження навіть у важкодоступних або екологічно небезпечних регіонах, що є суттєвою перевагою порівняно з традиційними методами. Завдяки своїй ефективності та економічності БПЛА стали важливим елементом системи сталого управління територіями, сприяючи вдосконаленню землеустрою, підвищенню ефективності природоохоронних заходів і розвитку аналітичних підходів у сфері моніторингу земель. Таким чином, світова практика демонструє, що впровадження технологій дронів є стратегічним напрямом розвитку сучасного землекористування та екологічного контролю.

2.2. Застосування БПЛА для виявлення змін у землекористуванні

Ефективне управління земельними ресурсами передбачає своєчасне виявлення змін у структурі землекористування, адже саме ці процеси визначають напрями просторового розвитку, стан довкілля та економічну стабільність регіонів. Виявлення трансформацій у використанні земель є необхідною передумовою для досягнення сталого розвитку територій, раціонального природокористування та науково обґрунтованого планування простору. У цьому контексті безпілотні літальні апарати (БПЛА) набувають особливого значення як ефективний інструмент оперативного моніторингу, просторового аналізу та контролю фактичного землекористування. Висока точність, регулярність спостережень і можливість отримання детальної візуальної інформації роблять дрони незамінними у практиці сучасного землеустрою та моніторингу територій.

Однією з ключових переваг використання безпілотних літальних апаратів є можливість отримання зображень територій із надзвичайно високою просторовою роздільною здатністю, що часто перевищує технічні можливості навіть сучасних супутникових систем дистанційного зондування Землі. Оснащення БПЛА мультиспектральними,

гіперспектральними та інфрачервоними камерами дає змогу отримувати актуальну інформацію про стан земної поверхні, її фізичні та біологічні характеристики.

Такі дані дозволяють:

- фіксувати незаконну зміну меж земельних ділянок і виявляти невідповідність між фактичним і зареєстрованим землекористуванням;
- відстежувати процеси деградації ґрунтів, ерозію та динаміку рослинного покриву;
- виявляти факти самовільного використання сільськогосподарських, заповідних або рекреаційних територій;
- здійснювати типологізацію земель за їхнім функціональним використанням на основі алгоритмів автоматизованої класифікації та машинного навчання [15, 24, 28].

БПЛА забезпечують оперативний збір детальної просторової інформації, що значно підвищує точність аналізу та ефективність моніторингу у сфері землекористування.

Вегетаційні індекси (NDVI, SAVI, GCI та інші), що розраховуються на основі аерофотознімків, отриманих із безпілотних літальних апаратів, значно підвищують ефективність моніторингу земель. Використання цих інструментів дозволяє проводити автоматизований аналіз стану рослинності та визначати просторові зміни у структурі землекористування. На основі багатоспектральних даних можливо виявляти факти несанкціонованого розорювання, самовільного будівництва, осушення чи заболочування територій, що забезпечує об'єктивність оцінки та оперативність реагування на зміни у земельному фонді.

Міжнародна практика підтверджує високу ефективність використання безпілотних літальних апаратів у сфері контролю за землекористуванням. У Франції та Італії дрони активно застосовуються для виявлення порушень природоохоронного законодавства, зокрема в

лісових масивах, прибережних зонах та охоронюваних природних територіях [23]. Такі обльоти дозволяють своєчасно фіксувати незаконну вирубку, забудову або зміну ландшафту в екологічно чутливих регіонах. У Китайській Народній Республіці запроваджено систему регулярних планових обльотів територій, завдяки чому забезпечується постійне оновлення кадастрових баз і своєчасне виявлення випадків самовільного захоплення земельних ділянок [26]. У Сполучених Штатах Америки Міністерство сільського господарства (USDA) застосовує БПЛА у межах державних програм підтримки фермерських господарств для контролю за раціональним використанням сільськогосподарських угідь, оцінки ефективності субсидій та перевірки дотримання агроекологічних стандартів [27].

Завдяки візуалізації даних, отриманих під час аерознімання, у вигляді цифрових моделей рельєфу, ортофотопланів, індексних карт і тематичних карт класифікації, державні органи мають можливість здійснювати оперативний контроль за змінами у землекористуванні. Така інформація дозволяє своєчасно виявляти порушення земельного законодавства, фіксувати факти самовільного зайняття або нецільового використання земель і забезпечувати швидке реагування відповідних служб на виявлені проблеми.

В Україні використання безпілотних літальних апаратів у системі земельного контролю та моніторингу перебуває на етапі активного становлення, проте вже демонструє стійку позитивну динаміку. Упродовж 2023–2024 років Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр) спільно з Державною екологічною інспекцією реалізували низку пілотних проєктів, спрямованих на перевірку ефективності застосування БПЛА для фіксації порушень у сфері землекористування. Результати цих досліджень підтвердили, що дрони є високоефективним інструментом для виявлення незаконних забудов на

сільськогосподарських землях, самовільного розорювання територій із природоохоронним статусом, а також знищення природної рослинності [29]. Отримані матеріали використовуються для подальшого вдосконалення державної системи земельного моніторингу та формування нових підходів до просторового контролю.

Окрім державних інституцій, до процесу моніторингу земельних ресурсів активно долучаються громадські організації, екологічні рухи та незалежні аналітичні центри. За підтримки ініціатив на кшталт «Екодії» та низки інших екологічних об'єднань реалізуються проекти громадського моніторингу землекористування із застосуванням безпілотних літальних апаратів. Зібрані матеріали аналізуються фахівцями та використовуються для підготовки офіційних звернень і подань до органів державної влади, з метою усунення виявлених порушень, захисту природоохоронних територій та запобігання несанкціонованому землекористуванню [30].

Попри очевидні переваги використання безпілотних літальних апаратів у сфері земельного моніторингу, для їх повноцінної інтеграції в систему землеустрою України необхідно вирішити низку важливих завдань. Передусім слід розробити уніфіковані методики збору, обробки та зберігання аерофотознімків, що забезпечить стандартизацію підходів на національному рівні. Важливо також підготувати кваліфіковані кадри, здатні здійснювати інтерпретацію даних дистанційного зондування та аналіз результатів у геоінформаційних системах. Особливої уваги потребує інтеграція матеріалів, отриманих із БПЛА, у структуру Державного земельного кадастру, що дозволить створити більш точну, актуальну й наочну базу просторових даних. Не менш актуальним залишається питання визначення правового статусу аерофотознімків, отриманих за допомогою дронів, зокрема можливості їх офіційного використання як доказів у судових або адміністративних справах. Вирішення цих аспектів

стане основою для ефективного та правомірного впровадження БПЛА у практику землеустрою.

Застосування безпілотних літальних апаратів для виявлення змін у землекористуванні відкриває широкі можливості для формування сучасної, інтегрованої та ефективної системи моніторингу земельних ресурсів. Висока просторово-часова точність, швидкість збору інформації та можливість регулярних обстежень роблять цю технологію одним із найперспективніших інструментів у сфері землевпорядкування.

У контексті активної урбанізації, зростання антропогенного навантаження та екологічних ризиків, використання БПЛА забезпечує новий рівень просторового аналізу, сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень і створює підґрунтя для сталого розвитку територій.

2.3. Переваги та обмеження БПЛА у землевпорядній діяльності

Стрімкий розвиток технологій безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відкрив нові можливості у сфері землеустрою, надавши фахівцям потужні засоби для оперативного, точного та економічно ефективного моніторингу територій. Якщо ще десять–п'ятнадцять років тому дрони переважно використовувалися у військових цілях або для спеціалізованих геодезичних аерозйомок, то нині вони стали невід'ємним елементом сучасної інфраструктури у сільському господарстві, екологічному моніторингу, кадастрових роботах і системах управління земельними ресурсами. Таку популярність зумовлює широкий спектр переваг, які мають БПЛА порівняно з традиційними методами отримання просторової інформації, — зокрема швидкість збору даних, високу точність, доступність і гнучкість у використанні. Водночас практичне впровадження цих технологій супроводжується певними технічними, правовими та організаційними обмеженнями, які необхідно враховувати під час планування та реалізації землевпорядних робіт.

Однією з найважливіших переваг використання безпілотних літальних апаратів є здатність отримувати високоточні геопросторові дані у короткі терміни. Сучасні моделі дронів оснащуються мультиспектральними, гіперспектральними та інфрачервоними сенсорами, а також навігаційними системами GNSS і RTK, що забезпечують точне позиціонування під час польоту. Завдяки цьому зібрані матеріали дозволяють формувати ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу (ЦМР), тривимірні реконструкції місцевості та карти землекористування з просторовою точністю до кількох сантиметрів [29]. Подібний рівень деталізації є надзвичайно важливим для проектних і кадастрових робіт, інвентаризації земель, моніторингу сільськогосподарських угідь, лісових масивів і природоохоронних територій. Отримані за допомогою БПЛА дані не лише підвищують якість картографічної інформації, а й сприяють прийняттю більш обґрунтованих управлінських рішень у сфері землеустрою.



Рис. 2.3.1 – Використання БПЛА для оперативної зйомки земної поверхні в межах сільськогосподарських угідь.

Ще однією вагомою перевагою застосування безпілотних літальних апаратів є значне скорочення часу та фінансових витрат на виконання польових обстежень. Завдяки автоматизованим польотним маршрутам, які програмуються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, можливо здійснювати зйомку великих територій у максимально стислі терміни без залучення значної кількості персоналу. У порівнянні з традиційними методами аерофотозйомки чи геодезичної зйомки, застосування дронів дозволяє знизити загальні витрати на виконання робіт на 30–50% [30]. Така економічна ефективність робить БПЛА привабливим рішенням як для державних установ, так і для приватних землевпорядних компаній, що прагнуть підвищити продуктивність і якість своєї діяльності.

Особливої цінності технології безпілотних літальних апаратів набувають у вивченні важкодоступних або потенційно небезпечних територій, де проведення традиційних польових робіт пов'язане з ризиком для людини. У гірських районах, заболочених місцевостях, зонах техногенних аварій, радіаційного забруднення або після стихійних лих використання класичних методів обстеження є вкрай утрудненим або взагалі неможливим. У таких умовах БПЛА забезпечують безпечне виконання картографічних і моніторингових завдань без необхідності фізичної присутності фахівців на місці. Це суттєво підвищує рівень безпеки праці, зменшує ризики для життя та здоров'я спеціалістів і водночас дозволяє отримувати точні та актуальні дані про стан об'єкта спостереження.



Рис. 2.3.2 - Використання БПЛА для моніторингу шахти

Ще однією суттєвою перевагою використання безпілотних літальних апаратів є їхня екологічна безпечність. На відміну від пілотованих літальних засобів, дрони не створюють значних викидів шкідливих речовин у атмосферу та не спричиняють суттєвого шумового забруднення. Під час виконання польотів на невеликій висоті вони практично не впливають на ґрунтовий покрив, рослинність і водні об'єкти, що робить їх застосування делікатним і екологічно збалансованим. Завдяки цим властивостям БПЛА вважаються одним із найбільш дружніх до навколишнього середовища інструментів моніторингу, особливо в межах природоохоронних територій або екологічно чутливих зон.

Попри значну кількість переваг, використання безпілотних літальних апаратів супроводжується низкою обмежень і викликів, які необхідно враховувати в практичній діяльності. Одним із головних є правове регулювання. В Україні використання повітряного простору суворо регламентується чинним законодавством, яке передбачає обов'язкове

отримання дозволів на польоти над визначеними територіями. У період воєнного стану ці вимоги стали ще жорсткішими — запроваджено додаткові обмеження, що суттєво ускладнюють проведення зйомок для землевпорядних, кадастрових чи моніторингових цілей. Крім того, сама процедура отримання дозволів часто є тривалою, бюрократично складною та потребує погодження з кількома інстанціями, що знижує оперативність та гнучкість у використанні БПЛА [32].

Важливим чинником, що впливає на ефективність застосування безпілотних літальних апаратів, є рівень професійної підготовки фахівців. Робота з БПЛА потребує не лише базових навичок пілотування, а й глибоких знань у галузі геоінформаційних систем (ГІС), фотограмметрії, обробки та інтерпретації мультиспектральних і інфрачервоних знімків. Високий рівень технічної компетентності є запорукою точності вимірювань, якості побудови моделей місцевості та достовірності аналітичних результатів. Однак нестача кваліфікованих кадрів залишається суттєвою проблемою, особливо в територіальних громадах і на невеликих підприємствах, які не мають можливості утримувати спеціалістів із комплексною підготовкою. Саме цей фактор нині є одним із головних бар'єрів, що стримує масове впровадження технологій дронів у землевпорядну практику.

Не менш значущим обмеженням у використанні безпілотних літальних апаратів є висока залежність їхньої роботи від погодних умов. За сильного вітру, опадів, густого туману або низьких температур виконання польотів стає небезпечним або технічно неможливим, що особливо ускладнює проведення зйомок у перехідні пори року. Крім того, обмежена тривалість роботи акумуляторів залишається суттєвим технічним чинником: більшість сучасних моделей здатні перебувати в повітрі лише 30–60 хвилин на одному заряді. Це потребує використання кількох батарей або навіть кількох дронів одночасно для забезпечення безперервності

зйомки [31]. Додатковими ризиками є технічні збої, втрата сигналу керування, збої в навігаційних системах чи аварійні падіння апаратів, що може призвести до втрати цінних даних або пошкодження обладнання. Тому для забезпечення стабільної роботи БПЛА важливими є не лише технічне обслуговування, а й постійний моніторинг стану систем зв'язку та енергоживлення.



Рис. 2.3.3 – Кваліфікований оператор БПЛА під час запуску дрона для виконання аерофотозйомки сільськогосподарських угідь.

Ще одним важливим обмеженням є висока вартість професійних безпілотних систем та програмного забезпечення, необхідного для обробки

отриманих даних. Незважаючи на поступове здешевлення базових моделей дронів, високотехнологічні комплекси, здатні забезпечувати надвисоку точність зйомки, тривалий час польоту та автоматизовану обробку інформації, залишаються економічно недоступними для більшості територіальних громад і невеликих землевпорядних організацій.

Крім того, значну частину витрат становить ліцензійне програмне забезпечення для фотограмметричної обробки аерознімків, побудови ортофотопланів і цифрових моделей рельєфу, що потребує постійних оновлень і технічної підтримки. У результаті саме фінансовий аспект часто стає стримувальним чинником для широкого впровадження технологій БПЛА у практику землеустрою.

Отже, безпілотні літальні апарати можна розглядати як один із найперспективніших інструментів у сучасній системі землеустрою та управління земельними ресурсами. Їх застосування забезпечує високу точність і оперативність моніторингових робіт, сприяє оптимізації фінансових витрат і дозволяє ефективно обстежувати важкодоступні або небезпечні території. Разом із тим, повноцінне використання потенціалу БПЛА можливе лише за умови комплексного підходу, який передбачає удосконалення нормативно-правового регулювання, підготовку кваліфікованих фахівців, урахування технічних обмежень і розробку методичних рекомендацій щодо збору, обробки та зберігання геопросторових даних. Лише за дотримання цих умов технології БПЛА можуть стати системним елементом землевпорядної діяльності, підвищити ефективність управління земельними ресурсами та сприяти формуванню інноваційної моделі сталого землекористування в Україні.

РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ТА СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ОБЛІКУ ЗЕМЕЛЬ ПОЗА МЕЖАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

3.1. Вихідні дані та вибір об'єкта дослідження

Для проведення практичної частини магістерського дослідження було обрано територію, розташовану в межах Рівненської територіальної громади Кіровоградської області, поблизу села Комишувате. Ця місцевість є типовою для центральної частини України та добре підходить для демонстрації можливостей безпілотних технологій у землевпорядкуванні. Територія має рівнинний рельєф, розвинену сільськогосподарську інфраструктуру, а в структурі землекористування переважають рілля, пасовища, прибережні зони водойм і захисні лісосмуги. Саме така різноманітність ландшафтних елементів робить цю територію зручною для комплексного аналізу фактичного землекористування поза межами населених пунктів.

Основною метою робіт було створення сучасної картографічної основи території за допомогою безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Multispectral та подальшої обробки зібраних матеріалів у програмному середовищі QGIS. Отримані результати використовуються для аналізу фактичного землекористування, уточнення меж ділянок і формування бази даних, придатної для майбутніх геоінформаційних та аналітичних цілей.

Для виконання зйомки було використано безпілотний літальний апарат DJI Mavic 3 Multispectral (МЗМ). Ця модель поєднує RGB-камеру з роздільною здатністю 20 Мп та мультиспектральний модуль, який містить п'ять сенсорів (зеленого, червоного, червоно-крайового, ближнього інфрачервоного діапазонів і панхроматичного каналу). Завдяки цьому дрон забезпечує можливість отримання зображень як у видимому, так і в

невидимому спектрах, що особливо корисно для аналізу стану земель, вегетації та структури поверхні.

Польотні роботи виконувалися у денний час за стабільного природного освітлення, без сильного вітру та опадів. Середня висота польоту становила близько 120 метрів, що дозволило отримати просторову роздільну здатність близько 5 см/піксель. Зйомка виконувалася автоматично — заздалегідь було створено польотне завдання у застосунку DJI Pilot 2, де визначено межі ділянки, висоту, напрямок руху та параметри перекриття кадрів (70% фронтальне та 65% бокове).

Отримані матеріали зберігалися у форматі TIFF та експортувалися для подальшої обробки в програмному забезпеченні Pix4Dfields, де виконано побудову ортофотоплану, цифрової моделі поверхні та аналіз мультиспектральних шарів. Після цього результати були імпортовані до QGIS, де здійснено векторизацію меж, формування контурів землекористування та геоаналіз отриманих даних.

У межах території було виокремлено кілька основних категорій землекористування:

- сільськогосподарські угіддя — рілля, пасовища, багаторічні насадження;
- природні елементи ландшафту — лісосмуги, полезахисні насадження, відкриті ґрунти;
- водні об'єкти — ставки, канали, прибережні смуги;
- території забудови — господарські та житлові споруди.

Таке різноманіття дозволяє провести багатofакторний аналіз використання земель поза межами населених пунктів і продемонструвати ефективність поєднання аерофотозйомки з геоінформаційними технологіями.

Для кращої візуалізації на рисунках 3.1.1 та 3.1.2 подано приклади аерофотозйомки території села Комишувате, виконаної дроном DJI Mavic 3

Multispectral. Зображення демонструють структуру землекористування, поєднання орних земель, водних об'єктів і природної рослинності, що були використані для створення базових ортофотопланів та подальшого геоаналізу.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Multispectral

Характеристика	Показник
Виробник	DJI (Китай)
Модель	Mavic 3 Multispectral (М3М)
Тип апарата	Квадрокоптер
Камера RGB	4/3" CMOS, 20 Мп
Мультиспектральні сенсори	Зелене (G), Червоне (R), Червоний край (RE), Ближнє ІЧ (NIR), Панхроматичний
Роздільна здатність мультиспектральних сенсорів	5 × 5 Мп
Система позиціонування	RTK (Real-Time Kinematic), підтримка базових станцій D-RTK 2
Максимальна тривалість польоту	До 43 хвилин
Радіус дії керування	До 15 км
Висота польоту для зйомки	60–120 м (оптимальна — 80 м)
Точність позиціонування	До 2 см у плані, до 3 см по висоті
Формати даних	JPEG, TIFF, GeoTIFF
Програмне забезпечення для обробки	Pix4Dfields, DJI Terra, Agisoft Metashape
Основне призначення	Моніторинг земель, аграрна аналітика, кадастрові зйомки, картографування



Рисунок 3.1.1 Аерофотозйомка території села Комишувате, виконана дроном DJI Mavic 3 Multispectral — загальний вигляд місцевості з сільськогосподарськими угіддями, водними об'єктами та забудовою.



Рисунок 3.1.2 Фрагмент території поблизу села Комишувате, отриманий за результатами аерофотозйомки дроном DJI Mavic 3 Multispectral — поєднання орних земель, природної рослинності та прибережної зони водойми.

3.2. Застосування безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Multispectral для збору та обробки аерофотознімків

У процесі дослідження безпілотний літальний апарат DJI Mavic 3 Multispectral (МЗМ) використовувався для проведення аерофотозйомки території поблизу села Комишувате Рівненської територіальної громади Кіровоградської області. Основна мета зйомки полягала у зборі високоточних геопросторових даних для створення ортофотоплану та подальшого аналізу фактичного землекористування поза межами населених пунктів [23; 24; 39; 41].

Перед початком польотів було розроблено місію у застосунку DJI Pilot 2, що забезпечує автоматичне планування маршруту, стабільне перекриття кадрів та фіксацію геопозиційних даних у режимі *RTK-enabled*. Для дослідження встановлено такі параметри:

- висота польоту — 80 м;
- швидкість — 5 м/с;
- перекриття кадрів — 70% фронтальне та 65% бокове;
- режим зйомки — *Mapping*.

Використання RTK-системи дало змогу досягти просторової точності до 2–3 см, що відповідає вимогам геодезичних і кадастрових робіт [4; 27; 39].

Польоти виконувалися у денний час за стабільного освітлення та без опадів, що забезпечило однорідність тіней і якість отриманих зображень. У результаті було зібрано понад 300 знімків у форматі TIFF, що охопили всю досліджувану територію.

Отримані дані були експортовані через DJI Pilot 2 і завантажені в програмне середовище Pix4Dfields, яке застосовується для побудови ортофотопланів та цифрових моделей місцевості. У ході обробки виконано такі основні етапи [34; 40; 44]:

- мозаїкування та геоприв'язка зображень на основі RTK-даних;

- корекція радіометричних спотворень та вирівнювання експозиції;
- створення ортофотоплану з просторовою роздільною здатністю до 5 см/піксель;
- генерація цифрової моделі поверхні (DSM);
- побудова NDVI-карти для аналізу стану рослинності;
- виділення зон перешкод (Obstacle) та NoSpray-зон, де обробка агродронами є небажаною через наявність водойм або інженерної інфраструктури.

Результати обробки представлені на рисунку 3.2.1, який демонструє ортофотоплан ділянки із зазначенням зон обмежень. Такі дані є важливими не лише для створення карт фактичного землекористування, а й для подальшого планування агротехнологічних операцій, зокрема внесення пестицидів та добрив [25; 32; 36; 45].

Створений ортофотоплан має геопросторову точність, що дозволяє інтегрувати його у геоінформаційні системи (QGIS, ArcGIS) для векторизації меж ділянок і формування тематичних карт. У середовищі QGIS виконано аналіз структурного складу землекористування, класифікацію угідь та уточнення меж сільськогосподарських територій [40; 43; 46].

Таким чином, використання DJI Mavic 3 Multispectral у поєднанні з програмними засобами Pix4Dfields і QGIS довело свою ефективність як технологічного рішення для збору, аналізу й картографування геопросторових даних. Отримані матеріали можуть бути використані в обліку земель, кадастрових роботах і для створення баз даних фактичного землекористування [39–47].

Таблиця 3.1 – Основні параметри аерофотозйомки території поблизу села Комишувате

Параметр	Значення
Висота польоту	80 м
Швидкість польоту	5 м/с
Кількість знімків	понад 300
Формат зображень	TIFF
Просторова роздільна здатність	до 5 см/піксель
Перекриття кадрів	70% (фронтальне), 65% (бокове)
Система позиціонування	RTK
Точність геоприв'язки	2–3 см
Програмне забезпечення	DJI Pilot 2, Pix4Dfields, QGIS
Формати експорту	GeoTIFF, SHP

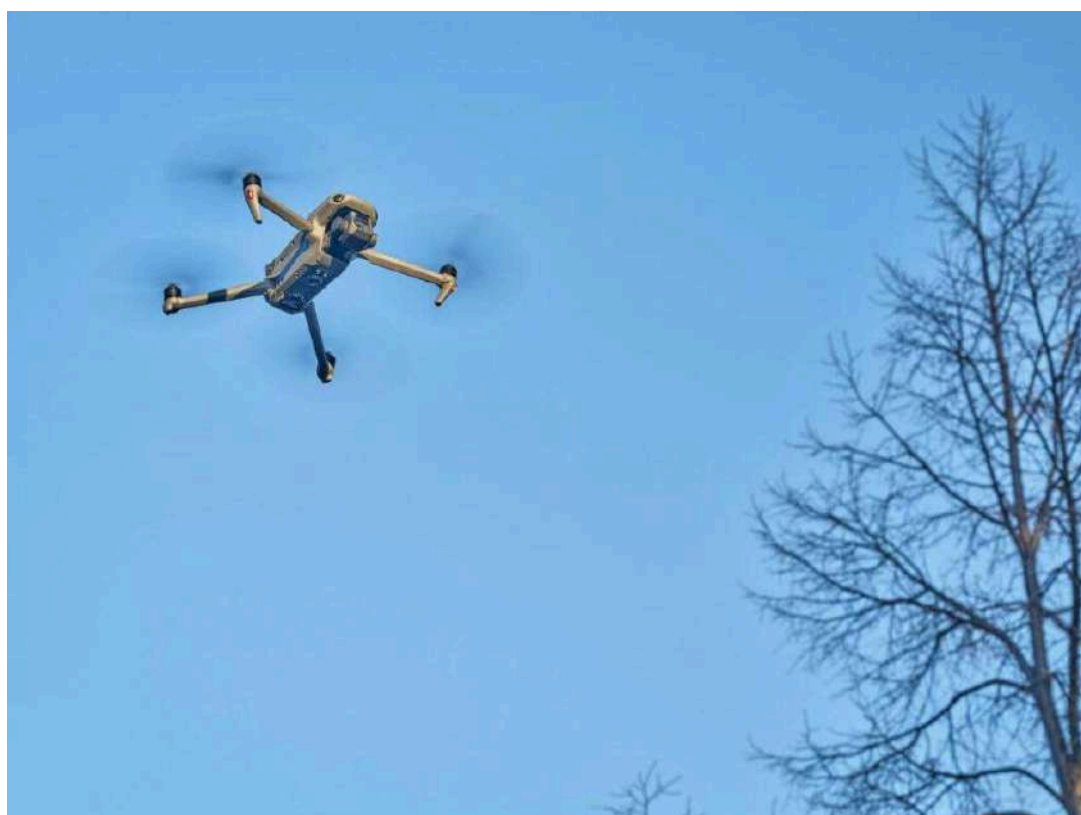
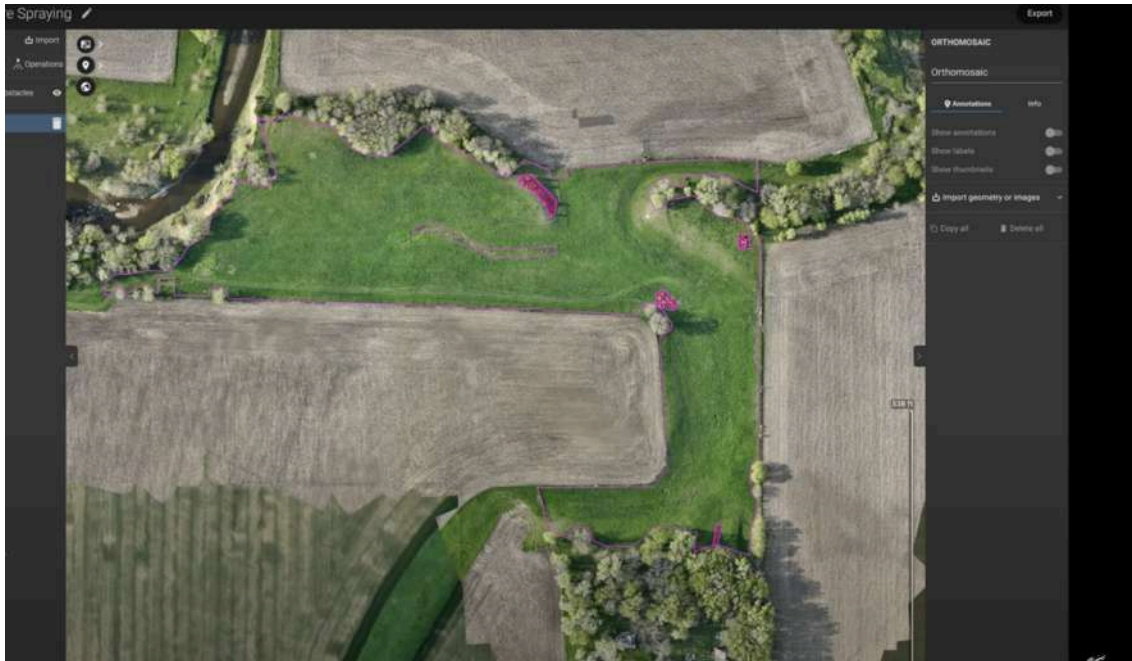


Рисунок 3.2.1 Безпілотний літальний апарат DJI Mavic 3 Multispectral під час виконання аерофотозйомки



Фрагмент ортофотоплану, створеного у програмі *Pix4Dfields*, із позначенням меж ділянки, зон перешкод (Obstacle) та зон, заборонених до обробки (NoSpray).

Виконана аерофотозйомка підтвердила ефективність використання DJI Mavic 3 Multispectral як інструменту для збору високоточних геопросторових даних. Поєднання мультиспектральної зйомки, RTK-навігації та аналітичних можливостей програм *Pix4Dfields* і *QGIS* дозволило створити ортофотоплани, цифрові моделі поверхні й тематичні карти з точністю, що відповідає вимогам сучасного землеустрою [4; 23; 27; 39–47].

Отримані матеріали можуть бути використані для контролю фактичного землекористування, кадастрових оновлень, а також у системах аналітичного моніторингу земель поза межами населених пунктів.

3.3 Обробка аерофотознімків супутникових даних у програмі QGIS для створення карт фактичного землекористування та проведення обліку земель поза межами населених пунктів.

Під час виконання магістерської роботи на тему «Застосування БПЛА для обліку використання земель поза межами населених пунктів» важливо було розділити два види робіт:

- детальну зйомку території з БПЛА для отримання високоточного ортофотоплану;
- обробку супутникових знімків, яка дає змогу побачити загальну картину землекористування на рівні всієї громади.

Саме тому, окрім аерофотозйомки дроном DJI Mavic 3 Multispectral, було виконано окремий блок робіт з обробки супутникових даних Sentinel-2 у програмі QGIS, що дозволило доповнити матеріали БПЛА аналітичною інформацією та оцінити структуру землекористування в ширших межах території дослідження [48; 49]. Роботи виконувалися для території поблизу села Комишувате Рівненської територіальної громади Кіровоградської області, де попередньо була проведена аерофотозйомка з БПЛА.

Супутниковий знімок Sentinel-2, використаний у дослідженні, завантажено з відкритого сервісу Copernicus Open Access Hub та імпортовано у середовище QGIS 3.34 Prizren. Знімок було геоприв'язано до координатної системи UTM Zone 35N (EPSG: 32635), що узгоджується з державною системою координат УСК-2000. Далі виконано попередню обробку: поєднання спектральних каналів (B4–B3–B2), корекцію кольорів і формування природно колірною зображення. Жовтим контуром на рисунку виділено межі громади, що дозволило чітко окреслити територію аналізу та надалі зонувати її за типами землекористування [50].



Рисунок 3.3.1 – Супутниковий знімок Sentinel-2 території поблизу села Комишувате, імпортований у середовище QGIS для аналізу землекористування та створення тематичної карти фактичного використання земель.

Для більш глибокого аналізу стану земель було використано плагін Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). На його основі розраховано основні спектральні індекси за даними знімка Sentinel-2 від 09.07.2025 р. — NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index) та SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index). Ці індекси дозволяють оцінити розвиток рослинності, рівень зволоження ґрунту та відокремити ділянки з інтенсивним сільськогосподарським використанням від малопродуктивних або деградованих територій [51]. Карти просторового розподілу значень індексів для досліджуваної території наведені на рисунках 3.3.2–3.3.4.



Рисунок 3.3.2 – Карта значень спектрального індексу NDVI, розрахованого за даними супутникового знімка Sentinel-2 від 09.07.2025 р.



Рисунок 3.3.3 – Карта значень спектрального індексу NDWI, розрахованого за даними супутникового знімка Sentinel-2 від 09.07.2025 р.



Рисунок 3.3.4 – Карта значень спектрального індексу SAVI, розрахованого за даними супутникового знімка Sentinel-2 від 09.07.2025 р.

Аналіз індексних карт показав, що високі значення NDVI відповідають добре розвиненій рослинності на орних землях і луках, тоді як низькі значення характерні для забруднених, техногенних або тимчасово не використовуваних ділянок. Індекс NDWI дозволив виділити русло річки, заплавні території та ділянки з підвищеною вологістю. За рахунок урахування фону ґрунту індекс SAVI дав змогу уточнити межі ділянок із розрідженим рослинним покривом та елементів польової інфраструктури (дороги, узбіччя, захисні смуги тощо).

На основі візуального аналізу індексних карт NDVI, NDWI та SAVI, у поєднанні з ортофотопланом, отриманим з БПЛА, та кадастровими межами у QGIS, було виділено п'ять основних категорій фактичного землекористування:

- орні землі та сільськогосподарські угіддя;
- природна рослинність і лісосмуги;
- водні об'єкти;

- забудовані території;
- техногенні або невикористані ділянки.

Такий підхід дав змогу побачити реальний розподіл земельних ресурсів громади. Порівняння з даними Державного земельного кадастру виявило, що частина ділянок, які за документами обліковуються як орні землі, фактично не обробляється або заросла природною рослинністю. Це підтверджує необхідність періодичного оновлення кадастрових відомостей та організації системного моніторингу землекористування [52].

Робота із супутниковими даними органічно доповнює результати зйомки з БПЛА. Як зазначається в публікаціях GIM International, поєднання космічних та дронівих даних дає змогу створювати достовірні карти фактичного землекористування, які відображають реальну ситуацію на місцевості й придатні для прийняття управлінських рішень [53]. Згідно з дослідженнями Lemmen C. та Enemark S., безпілотні літальні апарати є ключовим інструментом сучасного земельного адміністрування, оскільки забезпечують високу точність і оперативність збору інформації та відповідають принципу «fit-for-purpose» — оптимального співвідношення точності, вартості та часу виконання робіт [54].

Теоретичною основою інтеграції отриманих результатів є модель Land Administration Domain Model (LADM, ISO 19152), яка передбачає поєднання просторових і правових даних в єдиній інформаційній системі. У межах цієї моделі супутникові та аерофотознімки розглядаються як достовірне джерело геопросторової інформації для оновлення кадастру, реєстрації змін та контролю за фактичним використанням земель [55; 56].

Після завершення аналізу всі отримані результати були збережені у вигляді векторних шарів і інтегровані до бази геоданих проєкту QGIS. Це дозволило поєднати реальні межі землекористування, визначені за матеріалами БПЛА, з аналітичними характеристиками території, отриманими із супутникових спостережень. У підсумку сформовано

комплексну систему моніторингу земель, що відповідає вимогам міжнародної системи LADM і може бути використана для підтримки рішень у сфері обліку та управління земельними ресурсами [57; 58].

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на тему «Застосування БПЛА для обліку використання земель поза межами населених пунктів» було виконано комплексне дослідження, спрямоване на практичну перевірку можливостей сучасних безпілотних та геоінформаційних технологій у землевпорядкуванні. Особливу увагу приділено території поза межами населеного пункту, де традиційні методи зйомки часто є затратними за часом і не забезпечують необхідної деталізації.

У ході виконання роботи досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання дослідження.

1. Показано можливості БПЛА для створення високоточних карт місцевості.

Проведена аерофотозйомка території поблизу села Комишувате Рівненської територіальної громади Кіровоградської області за допомогою DJI Mavic 3 Multispectral дала змогу отримати детальні знімки з високою просторовою роздільною здатністю. На їх основі створено ортофотоплан та цифрову модель місцевості, які відображають реальний стан землекористування з точністю, достатньою для аналізу меж земельних ділянок, дорожньої мережі, лісосмуг та інших елементів ландшафту.

2. Обґрунтовано доцільність поєднання даних БПЛА із супутниковими знімками Sentinel-2.

Обробка супутникових знімків Sentinel-2 у середовищі QGIS дала змогу отримати узагальнену картину землекористування на рівні всієї громади. На основі цих даних були розраховані індекси NDVI, NDWI та SAVI, що дозволило оцінити стан рослинності, виділити зони підвищеної вологості та уточнити межі ділянок із різним характером використання. Таким чином, супутникові спостереження доповнили результати аерозйомки, забезпечивши поєднання детального і оглядового рівнів аналізу.

3. Створено єдиний геоінформаційний проєкт у QGIS для обліку фактичного землекористування.

У програмному середовищі QGIS було інтегровано ортофотоплан із БПЛА, супутниковий знімок Sentinel-2, кадастрові межі та аналітичні шари, отримані на основі спектральних індексів. Це дозволило сформувати єдиний геоінформаційний простір, у якому можна одночасно оцінювати фактичний стан території, офіційно зареєстровані межі та характер використання земель. Такий підхід показав зручність і гнучкість ГІС-технологій у задачах обліку земель поза межами населених пунктів.

4. Виявлено розбіжності між фактичним і зареєстрованим землекористуванням.

Порівняльний аналіз матеріалів аерофотозйомки, супутникових індексних карт та кадастрових даних показав, що окремі земельні ділянки, які в облікових документах зазначені як орні землі, фактично не обробляються або перебувають у стані природної зарослості. Це свідчить про наявність розриву між формальним і реальним землекористуванням та підтверджує необхідність регулярного оновлення кадастрової інформації на основі сучасних методів зйомки.

5. Оцінено точність і практичну ефективність застосованих технологій.

Аналіз результатів показав, що використання БПЛА дозволяє досягти високої точності визначення просторового положення об'єктів, достатньої для задач обліку та моніторингу земель поза межами населених пунктів. Поєднання даних БПЛА, супутникових знімків та інструментів QGIS виявилось ефективним з точки зору затрат часу, доступності програмних засобів і можливості подальшого оновлення та доповнення геоінформаційної бази.

6. Визначено місце отриманих результатів у контексті міжнародних підходів до земельного адміністрування.

Застосований підхід узгоджується з принципами моделі Land Administration Domain Model (LADM, ISO 19152) та концепцією *fit-for-purpose*, яка передбачає оптимальне поєднання точності, вартості та швидкості робіт. Використання БПЛА і супутникових даних як джерел геопросторової інформації відповідає сучасним тенденціям цифровізації земельного адміністрування та може розглядатися як реальний інструмент підтримки прийняття рішень на рівні територіальних громад.

У цілому, результати магістерської роботи підтвердили, що застосування БПЛА у поєднанні з супутниковими знімками та геоінформаційними системами є ефективним інструментом обліку та моніторингу використання земель поза межами населених пунктів. Такий підхід дозволяє підвищити достовірність кадастрових даних, забезпечити прозорість землекористування та створює передумови для впровадження сучасних цифрових технологій у практику управління земельними ресурсами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про правовий режим воєнного стану» від 12.05.2015 р. № 389-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2015. № 28. Ст. 250. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19> (дата звернення: 25.11.2025).
2. Кримінальний кодекс України. Стаття 114-2. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14> (дата звернення: 25.11.2025).
3. Наказ Державіаслужби України від 26.06.2017 р. № 430. Про затвердження Правил використання повітряного простору України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0713-17> (дата звернення: 25.11.2025).
4. Наказ Державіаслужби України від 02.12.2020 р. № 683. Про затвердження Правил використання безпілотних повітряних суден. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1293-20> (дата звернення: 25.11.2025).
5. Офіційні розпорядження Генерального штабу ЗСУ (2022–2025). *Непублічний документ / Звітується за публічними брифінгами та заявами*.
6. Повітряний кодекс України. Прийнятий 19.05.2011 р. № 3393-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2011. № 48-49. Ст. 536. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17> (дата звернення: 25.11.2025).
7. Аналітичний звіт «Використання БПЛА в умовах воєнного конфлікту в Україні». Центр безпекових досліджень, 2024. *Непублічний аналітичний документ*.
8. ГО «Екодія». Моніторинг землекористування з використанням дронів: досвід 2022–2023. Київ, 2023. URL: <https://ecoaction.org.ua> (дата звернення: 25.11.2025).
9. Державна авіаційна служба України. Нормативно-правове регулювання використання повітряного простору в умовах воєнного стану. 2023. *Внутрішній документ*.

10. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Звіт про використання RTK-технологій у землевпорядкуванні. Київ, 2024. *Внутрішній звіт*.

11. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Звіт про результати використання БПЛА для контролю землекористування. Київ, 2024. URL: <https://land.gov.ua> (дата звернення: 25.11.2025).

12. Задорожня Г. П., Кваша Т. К. Зарубіжний досвід безвідходного і сталого розвитку сільського господарства. *Український інститут науково-технічної інформації*. Київ: УІНТЕІ, 2021. URL: <https://uintei.kiev.ua> (дата звернення: 25.11.2025).

13. Ласовецький М. В. Світовий досвід використання безпілотних літальних апаратів. *Наукові праці ННІ №3 НАВС*. 2023. *Пошук у репозитаріях НАВС*.

14. Лищенко, О., Ковальчук, Р. Інтеграція даних БПЛА-фотограмметрії в земельний кадастр України. *Geodesy and Land Management*. 2023. №2. С. 14–22.

15. Новаковська, І., Кустовська, В. Геоінформаційні технології в управлінні земельними ресурсами. Київ: НУБіП України, 2023.

16. НУБіП України. Методичні рекомендації щодо використання БПЛА для землевпорядних робіт. Київ: НУБіП, 2024. 78 с.

17. Платформа "Аеророзвідка". URL: <https://aerorozvidka.org> (дата звернення: 25.11.2025).

18. Слюсар, В. І. Безпілотні літальні апарати: класифікація та особливості застосування. *Військова техніка*. 2021. №3.

19. Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming from UAV images. *Remote Sensing*. Vol. 7, No. 4. P. 4026–4047. DOI: 10.3390/rs70404026.

20. Cohen, Y., Ben-Dor, E., & Karnieli, A. (2019). Using UAVs and hyperspectral imaging for precision agriculture in Israel. *Sensors*. Vol. 19, No. 11. P. 2441. DOI: 10.3390/s19112441.
21. Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 92. P. 79–97. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.07.009.
22. DJI Agriculture. *Mavic 3 Multispectral: Product Manual & Specs*. Shenzhen: DJI, 2022.
23. DJI Enterprise. *Technical Documentation: Phantom 4 RTK and Multispectral Systems*. 2023.
24. DJI Terra. *Professional Photogrammetry and Mapping Software User Guide*. Shenzhen: DJI, 2023. 56 p.
25. Drusch, M. et al. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 120. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.rse.2012.01.015.
26. ESA (European Space Agency). *Copernicus and UAV Synergy for Land Monitoring*. Paris: ESA Publications, 2024. 71 p.
27. ESA Copernicus Open Access Hub. *Sentinel-2 User Guide*. European Space Agency, 2024. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2> (дата звернення: 25.11.2025).
28. European Commission. *Use of Drones in the EU for Land Monitoring*. Joint Research Centre, 2020. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu> (дата звернення: 25.11.2025).
29. European Commission. *Use of drones in agriculture: Case Studies from EU Member States*. JRC, 2021. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu> (дата звернення: 25.11.2025).

30. European GNSS Agency. *RTK and CORS Technologies for Agriculture*. Brussels, 2021.
31. FAO (Food and Agriculture Organization). *Drones for Sustainable Agriculture: Guidelines for Monitoring Land and Crop Conditions*. Rome: FAO, 2023. 64 p. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc5192en> (дата звернення: 25.11.2025).
32. FAO. *Land Cover Classification System (LCCS)*. Rome: Food and Agriculture Organization, 2022. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc4957en> (дата звернення: 25.11.2025).
33. FIG Publication No. 80. *Fit-for-Purpose Land Administration: Guidelines for Implementation*. Copenhagen: International Federation of Surveyors, 2021. URL: <https://www.fig.net/pub/figpub/pub80/figpub80.htm> (дата звернення: 25.11.2025).
34. GIM International. *Land Administration Domain Model (LADM)*. 2023. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/land-administration-domain-model> (дата звернення: 25.11.2025).
35. Huang, Y., & Thomson, S. (2024). Evaluation of UAV Multispectral Data for Agricultural Land Assessment. *Precision Agriculture Journal*. Vol. 25, No. 2. P. 210–228. DOI: 10.1007/s11119-023-10022-7.
36. Hugenholtz, C. et al. (2020). Small Unmanned Aerial Systems for Remote Sensing and Earth Science Research. *EOS Transactions, AGU*. DOI: 10.1029/2020EO140237.
37. ISO 19152:2012. *Geographic Information – Land Administration Domain Model (LADM)*. International Organization for Standardization, Geneva. URL: <https://www.iso.org/standard/51206.html> (дата звернення: 25.11.2025).

38. Lemmen, C. et al. (2022). The Need for Fit-for-Purpose Land Administration. *GIM International*.
39. Lemmen, C., Enemark, S., & van Oosterom, P. (2021). Scaling up UAVs for Land Administration: Towards the Plateau of Productivity. *FIG Working Week 2021*.
40. Liu, J., Zhang, Y., & Wang, S. (2018). Application of UAV remote sensing technology in environmental monitoring. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 25, No. 27. P. 27241–27251. DOI: 10.1007/s11356-018-2815-4.
41. López-Granados, F. (2016). Weed detection for site-specific weed management: Mapping and real-time approaches. *Weed Research*. Vol. 56, No. 2. P. 107–121. DOI: 10.1111/wre.12177.
42. Lottes, P. et al. (2017). UAV-based crop and weed classification for smart farming. *Remote Sensing*. Vol. 9, No. 8. P. 765. DOI: 10.3390/rs9080765.
43. Malik, R. et al. (2022). Applications of UAVs in Remote Sensing and Precision Agriculture. *MDPI Drones*. Vol. 6, No. 11. P. 328. DOI: 10.3390/drones6110328.
44. Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*. Vol. 6, No. 1. P. 1–15. DOI: 10.1007/s12518-013-0120-x.
45. Pix4D. *Integrating UAV Data with GIS: Case Studies in Agriculture and Land Management*. Lausanne: Pix4D Research Series, 2024. 42 p.
46. Pix4D. *Pix4Dfields Documentation*. Lausanne: Pix4D, 2023. URL: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/360002165972> (дата звернення: 25.11.2025).
47. QGIS Development Team. *QGIS User Guide 3.34 Prizren*. Open Source Geospatial Foundation, 2024. URL: https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/user_manual/ (дата звернення: 25.11.2025).

48. RealTerra Technologies. *Field Manual: Real-Time RTK Data Collection Using DJI Multispectral Platforms*. Berlin, 2023. 38 p.
49. Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 8, No. 2. P. 127–150. DOI: 10.1016/0034-4257(79)90013-1.
50. USDA. *Geospatial Analysis of Cropland Using Drones*. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 2022.
51. XAG. *Agricultural Remote Control 3 Pro: User Manual*. Guangzhou: XAG, 2023.
52. Zarco-Tejada, P. J., & Berni, J. A. J. (2023). Monitoring Land Use and Vegetation Indices Using UAV Multispectral Imagery. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 298. 113774. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113774.
53. Zarco-Tejada, P. J., Hubbard, N., & Loudjani, P. (2014). Precision agriculture: An opportunity for EU farmers—Potential support with the CAP 2014–2020. European Parliament. URL: <https://www.europarl.europa.eu> (дата звернення: 25.11.2025).
54. Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small UAVs for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*. Vol. 13, No. 6. P. 693–712. DOI: 10.1007/s11119-012-9274-5.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА DJI MAVIC 3

MULTISPECTRAL

Параметр	Характеристика
Виробник	DJI (Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd., Китай)
Модель	Mavic 3 Multispectral (M3M)
Тип апарата	Квадрокоптер
Маса	951 г
Габарити	366 × 183 × 137 мм (у розкладеному стані)
Максимальна висота польоту	6 000 м над рівнем моря
Тривалість польоту	До 43 хвилин
Максимальна швидкість	21 м/с
Система позиціонування	GNSS (GPS, Galileo, BeiDou) + RTK
RGB-камера	20 Мп, CMOS 4/3", механічний затвор
Мультиспектральна камера	4 сенсори: Green (560 ±16 нм), Red (650 ±16 нм), Red Edge (730 ±16 нм), NIR (860 ±26 нм)
Роздільна здатність зображень	RGB – 5280×3956 пікселів, MS – 1600×1300 пікселів
Кут огляду камери	84° (RGB), 61° (MS)
Дальність передачі сигналу	До 15 км (OcuSync 3.0)
Формати фото	JPEG, TIFF
Формати відео	MP4, MOV (H.264/H.265)
Система стабілізації	3-осьовий гімбал
Тип живлення	Інтелектуальний акумулятор Li-ion 5000 мА·год
Основне програмне забезпечення	DJI Pilot 2, DJI Terra, Pix4Dfields, QGIS
Сфера застосування	Геодезія, землевпорядкування, точне землеробство, моніторинг стану земель

ДОДАТОК Б. НОМОГРАМА ЗАЛЕЖНОСТІ ЛІНІЙНОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВІД ВИСОТИ ПОЛЬОТУ DJI MAVIC 3 MULTISPECTRAL

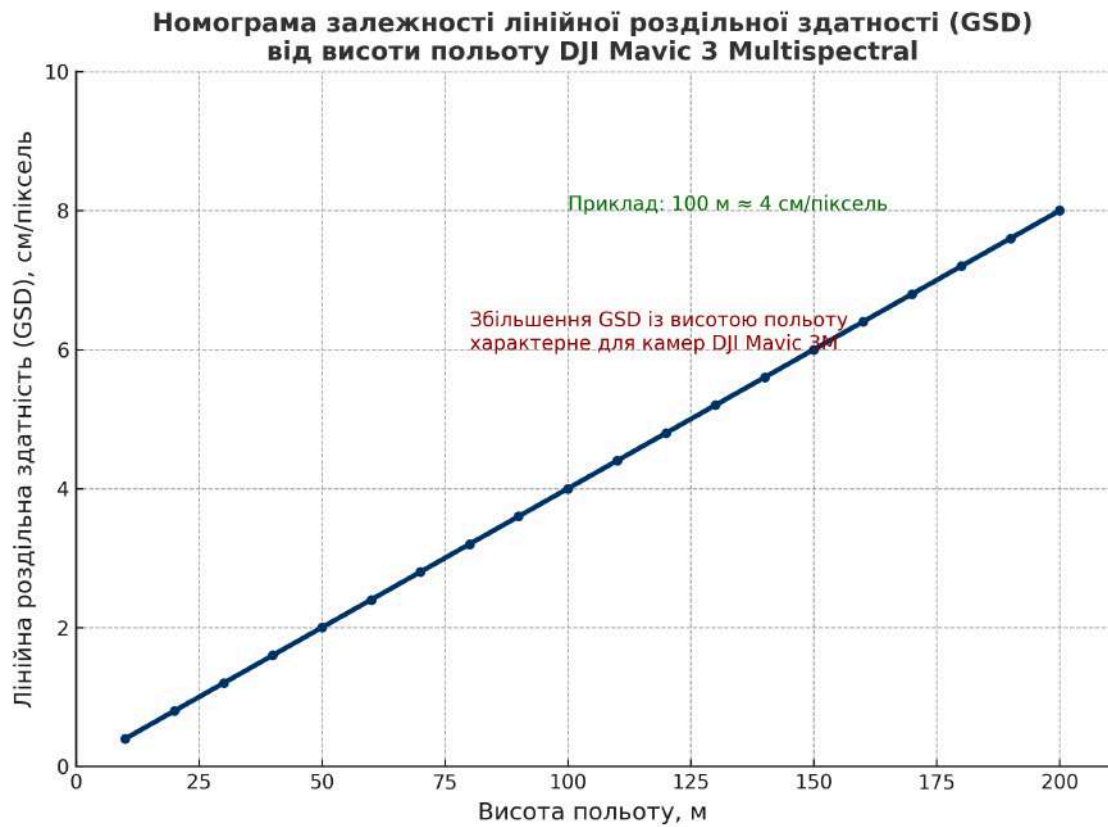


Рис.Б - Номограма залежності лінійної роздільної здатності (GSD, см/піксель) від висоти польоту безпілотної літальної апарату DJI Mavic 3 Multispectral.

**ДОДАТОК В. ОРТОФОТОПЛАН ТЕРИТОРІЇ ПОЗА
МЕЖАМИ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ, ОТРИМАНИЙ ЗА
РЕЗУЛЬТАТАМИ АЕРОФОТОЗЙОМКИ З БПЛА DJI MAVIC
3 MULTISPECTRAL**



Рис.Д - ортофотоплан, створений у результаті обробки аерофотознімків, отриманих з безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Multispectral. Ортофотоплан відображає структуру землекористування та використовується для аналізу меж і складу земель поза межами населеного пункту села Комишувате Рівненської територіальної громади.

ДОДАТОК Д. КАРТА ПОЛЬОТНОГО ЗАВДАННЯ ТА ЗОНИ ОБМЕЖЕНЬ ПРИ ОБЛІТІ ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ

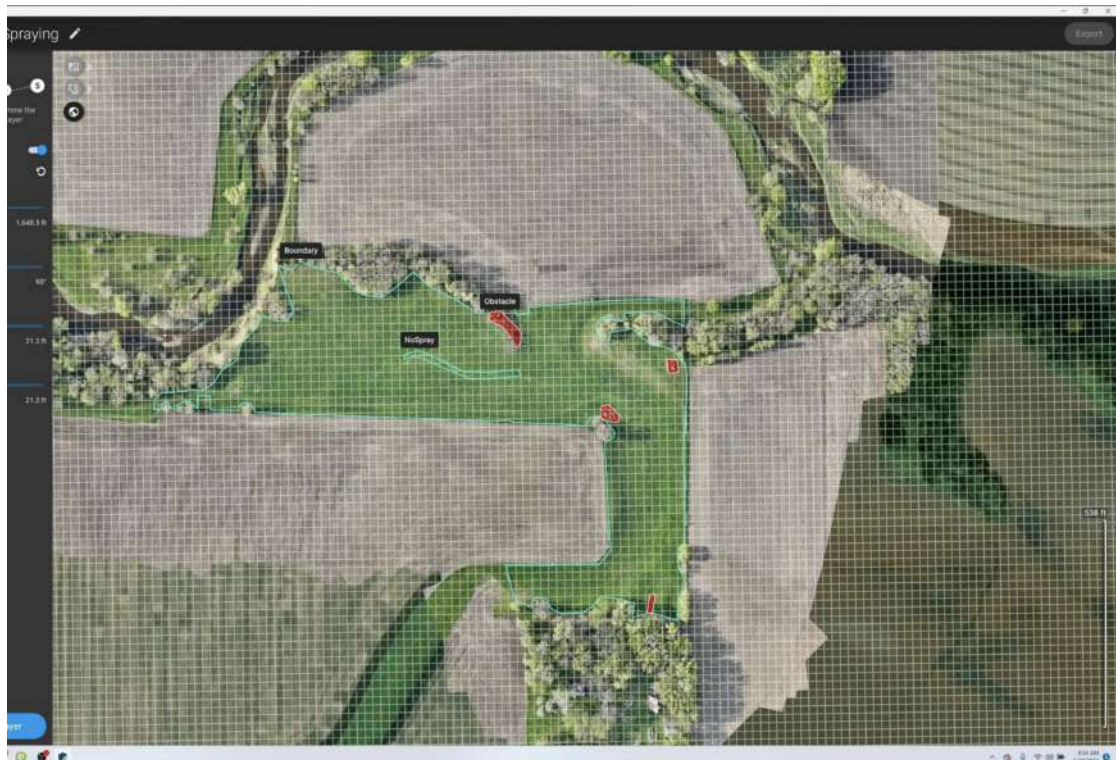


Рис. Е - Польотне завдання, створене для аерофотозйомки за допомогою безпілотного літального апарата DJI Mavic 3 Multispectral. На ортофотоплан накладено сітку, що використовується для побудови маршрутів польоту та рівномірного покриття території зйомки. Також позначено межі ділянки (Boundary), зони перешкод (Obstacle) та ділянки, де польоти або обробка не виконуються (NoSpray). Структура сітки дозволяє оптимізувати траєкторію польоту й забезпечує рівномірну якість отриманих знімків.