

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

к.г.н., доцент

_____ Ірина ЛЕОНІДОВА

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Освітньої програми «Геодезія та землеустрій»

За спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ТОПОГРАФІЧНОМУ ЗНІМАННІ ТЕРИТОРІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Науковий керівник: д.геогр.н., професор

_____ Віктор МИХАЙЛЮК

Рецензент:

Виконав здобувач другого (магістерського)

ступеня вищої освіти заочної форми навчання

Петро ГЕРАСИМЕНКО

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

_____ **Петро ГЕРАСИМЕНКО**

РЕФЕРАТ

Дослідження методики геодезичних робіт при топографічному зніманні територій за допомогою безпілотних літальних апаратів. Герасименко П.М. Кваліфікаційна робота. ОДАУ, кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2023. 80 с. текстової частини, 6+ таблиць, 6 вкладишів, 26 літературних джерел, 6 аркушів графічної частини.

Текстова частина включає: вступ, огляд літератури, польові аерофотознімальні роботи з використанням БПЛА, камеральне опрацювання результатів аерофотознімальних робіт за допомогою БПЛА, висновки, список використаної літератури.

Графічна частина включає: схема місцезнаходження оздоровчого центру Рекреаційний комплекс "ТАРТУС" на території с. Ліски Фонтанської сільської територіальної громади Одеського району Одеської області, аерознімки району знімання, схема розміщення центрів фотографування та перекриття знімків, схема вирівнювання аерофотознімків, цифрова модель місцевості оздоровчого центру Рекреаційний комплекс "ТАРТУС", ортофотоплан місцевості оздоровчого центру Рекреаційний комплекс "ТАРТУС".

Ключові слова: КВАДРОКОПТЕР, БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ, GNSS-ПРИЙМАЧІ, ГЕОПРИВ'ЯЗКА, АЕРОФОТОЗНІМАННЯ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ МІСЦЕВОСТІ, ОРТОФОТОПЛАН.

В кваліфікаційній роботі в повному обсязі приведено науково-обґрунтований комплекс топографо-геодезичних робіт щодо створення ортофотопланів місцевості з використанням безпілотних літальних апаратів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	7
1.1. Нормативно-правове забезпечення геодезичних робіт щодо топографічного знімання територій з використанням БПЛА.....	7
1.2. Історія виникнення безпілотних літальних апаратів.....	16
РОЗДІЛ 2 ПОЛЬОВІ АЕРОФОТОЗНІМАЛЬНІ РОБОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА	21
2.1. Технологія проведення робіт за допомогою безпілотних літальних апаратів	21
2.2. Характеристика об'єкту проектування	26
2.3. Прилади для польових вимірювання.....	32
2.4. Методика проведення польових робіт за допомогою БПЛА на об'єкті знімання.....	44
РОЗДІЛ 3 КАМЕРАЛЬНЕ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ АЕРОФОТОЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА...	56
3.1. Технологія камерального опрацювання аерофотознімальних робіт за допомогою БПЛА.....	56
3.2. Методика опрацювання результатів аерофотознімання.....	63
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

ВСТУП

Загальна постановка проблеми та актуальність теми. Топографічне знімання з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема з квадрокоптерів, у геодезичному виробництві стає все більш затребуваним. Сьогодні дрони активно використовують для побудови зображень, створення карт та просторового аналізу при топографічному та аерофотографічному зніманні території. Ця тенденція пояснюється зростанням попиту на потребу оперативності, повноти і точності вимірів та розрахунків, достатніх для раціонального використання та охорони земельних ресурсів, безпечного ведення інженерно-вишукувальних робіт.

Сьогодні без перебільшень можна сказати, що квадрокоптери є швидким і ефективним методом аерофотознімання. До того ж, на відміну від знімання з літаків та гелікоптерів, використання дронів значно дешевше, а також дає можливість отримувати більш точніші та якісніші результати. Основні переваги квадрокоптерів для геодезії: скорочення тривалості виконання робіт, спрощення їх виконання, використання їх у важкодоступних місцях.

Таким чином, прорив у розвитку БПЛА, який обумовлений різким зниженням габаритів та вартості електронної та конструктивної складової даних апаратів та, як наслідок, їх застосування при вирішенні різноманітних інженерних завдань обумовлюється викликами до геодезії в сучасних умовах. Підводячи підсумок вищезазначеного, можна сказати, що БПЛА значно спрощують роботу геодезистів. Але на даний час не існує нормативної методичної документації, яка може передати весь процес топографічного знімання і опрацювання результатів вимірювань, що і виступає актуальністю даної теми кваліфікаційної роботи.

Мета кваліфікаційної роботи: аналіз та дослідження технології створення ортофотоплану місцевості з використанням безпілотних літальних апаратів.

Об'єкт дослідження кваліфікаційної роботи: оздоровчий центр

Рекреаційний комплекс "ТАРТУС" на території с. Ліски Фонтанської сільської територіальної громади Одеського району Одеської області.

Предмет дослідження кваліфікаційної роботи: засоби та технологія використання БПЛА в комплексі з GNSS-приймачами при складанні топографічних планів місцевості.

Поставлена мета передбачає вирішення наступних основних завдань:

- проаналізувати нормативно-правове забезпечення геодезичних робіт щодо аерофотознімання територій з використанням БПЛА;
- проаналізувати історію розвитку безпілотних літальних апаратів та досвід їх застосування в геодезичній сфері;
- дослідити програмне забезпечення і методику опрацювання знімків за допомогою БПЛА;
- вивчити методику проведення польових робіт на БПЛА з врахуванням особливостей рельєфу місцевості, проведення авіаційних робіт в комплексі з супутниковими вимірами;
- дослідити методику камеральної обробки результатів аерофотозйомки за допомогою програмного комплексу Agisoft Metashape;
- виконати проект геодезичних робіт щодо створення ортофотоплану території досліджуваного об'єкту.

Методи дослідження кваліфікаційної роботи: експериментальні та теоретичні методи: теорії математичного моделювання, методики та технології проведення геодезичних робіт за допомогою БПЛА.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1. Нормативно-правове забезпечення геодезичних робіт щодо топографічного знімання територій з використанням БПЛА

При розробці теми кваліфікаційної роботи були використані закони та підзаконні нормативно-правові акти, різноманітна наукова та навчальна література в галузі топографічної діяльності, пов'язаної з проведенням геодезичних робіт при топографічному зніманні територій за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Нормативні документи, які врегульовують питання державного управління та державного нагляду в галузі геодезії, види і умови здійснення топографо-геодезичної та картографічної діяльності та її метрологічне, нормативно-технічне забезпечення – це:

- Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» [21];
- постанова Кабінету Міністрів України №646 від 07.08.2013р. «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність”» [4];
- постанова Кабінету Міністрів України №1075 від 13.07.1998р. «Про Порядок використання апаратури супутникових радіонавігаційних систем під час проведення топографо-геодезичних, картографічних, аерофотознімальних, проектних, дослідницьких робіт і вишукувань та кадастрових зйомок» [20];
- Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України №509 02.12.2016р. «Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референтної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою» [18];
- постанова Кабінету Міністрів України від 04.09.2013р. № 661 «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» [19].

Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” сприяє удосконаленню нормативно-правової бази у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності, визначає перелік топографо-геодезичних та картографічних робіт і складових Державної геодезичної мережі, підвищує якість результатів топографо-геодезичної і картографічної діяльності [21].

Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” №646 від 07.08.2013р. висвітлює питання: структури Державної геодезичної мережі України, видів робіт при її проектуванні та побудові; системи відліку координат і часу; геодезичного моніторингу Державної геодезичної мережі; математичного оброблення результатів вимірювання та каталогізацію пунктів Державної геодезичної мережі [4].

Чинне законодавство щодо визначення, класифікації та використання безпілотних літальних апаратів регулюється:

- 1) Повітряним кодексом України [14];
- 2) Постановою Кабінету міністрів України №954 «Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України» [17];
- 3) наказом Державної авіаційної служби України та Міністерства оборони України №430/210 «Правила використання повітряного простору України» [17];
- 4) Наказом Міністерства оборони України № 661 «Правила виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України» [16].

У *Авіаційних правилах України* (пункт 6 розділу І) щодо використання повітряного простору визначено, що: «безпілотне повітряне судно» – це повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються за допомогою спеціальної станції керування, що розташована поза повітряним судном [17].

Повітряний Кодекс України встановлює, що не підлягають реєстрації у Державному реєстрі цивільних повітряних суден України – безпілотні повітряні судна, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кг і які використовуються для розваг та спортивної діяльності [14]. Крім того, в Авіаційних правилах встановлено, що польоти безпілотних ПС масою до 20кг включно виконуються без подання заявок на використання повітряного простору України (ВПП), без отримання дозволів на нього, без інформування органів управління Повітряних Сил ЗСУ та органів об'єднаної цивільно-військової системи організації повітряного руху України, органів Державної прикордонної служби України, органів обслуговування повітряного руху та відомчих органів управління повітряним рухом. Це можливе за умови дотримання переліку вимог, серед низки яких є те, що польоти виконуються:

- без перетинання державного кордону України й поза межами встановлених заборон та обмежень ВПП, крім випадків, установлених Положенням про ВПП;

- польоти виконуються не ближче 5 км від зовнішніх меж злітно-посадкових смуг (далі – ЗПС) аеродромів або не ближче 3 км від зовнішніх меж злітно-посадкової смуги, крім випадків узгодження з експлуатантом ЗПС;

- польоти виконуються не ближче 500 м від пілотованих ПС й польоти не виконуються над: скупченням людей на відкритому просторі та над місцями щільної забудови, зокрема, об'єктами (зонами), які визначені державними органами та відносно яких здійснюється державна охорона.

В інших випадках польоти безпілотного ПС масою до 20 кг включно та усі без винятку польоти безпілотного ПС масою понад 20 кг виконуються у межах спеціально встановлених зон та маршрутів з дотриманням вимог щодо подання заявок на ВПП, отримання дозволів та умов ВПП [17].

З введенням воєнного стану в Україні з 24.02.2022р. закрито повітряний простір України для цивільних користувачів повітряного простору, включаючи й безпілотні повітряні літальні апарати (БПЛА).

Рішення щодо можливості використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами в конкретній області ухвалює Генеральний штаб Збройних Сил України. Для можливості забезпечення належного використання безпілотних повітряних суден у сільському господарстві суб'єктам господарювання необхідно звернутися до відповідної обласної військової адміністрації на предмет можливості використання на конкретній території (у районі) безпілотних повітряних суден.

Наказом Міністерства оборони України № 661 «Правила виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України» встановлена наступна класифікація безпілотних літальних апаратів безпілотних авіаційних комплексів (далі – БПЛА БПАК). За класами вони існують: легкі, середні й важкі. Крім того, кожен з цих класів ділиться ще й на підгрупи. За призначенням БПЛА БПАК класифікуються як бойові, розвідувальні, ударні; БПЛА БПАК розвідки та цілевказання й радіоелектронної боротьби. До того ж, існують БПЛА – перехоплювачі ПС та бойові БПЛА БПАК, які можуть мати комбіноване призначення. Існують також й спеціальні БПЛА БПАК – призначені для виконання спеціальних завдань, а також для спостереження та моніторингу об'єктів, території тощо. Крім цього, є класифікація за типом, місцем базування, способом зльоту та посадки й типом системи керування польотом [16].

Додатковою перевагою БПЛА у картографуванні є GNSS-приймач, який призначений для визначення координат центрів знімків. В подальшому це полегшує геодезичну прив'язку об'єктів, що є важливою складовою при картографуванні, та оновленні картографічних матеріалів певної території. Сучасні технології БПЛА та лазерного сканування дозволяють у максимально короткі терміни проводити великомасштабні знімання і отримувати у цифровому вигляді ортофотоплани і цифрові моделі місцевості [22].

Топографічне знімання території при інженерно-вишукувальних роботах виконується методами: горизонтальним, висотним (вертикальним), мензульним, тахеометричним, наземним фототопографічним,

стереотопографічним, комбінованим аерофототопографічним, з використанням супутникової геодезичної апаратури (приймачів GPS та інше), а також поєднанням різноманітних методів [12].

Аерофототопографічне знімання є одним із видів створення топографічних карт і планів крупного масштабу. Результатами виконання робіт є ортофотоплани, топографічні карти та плани, цифрові моделі місцевості (ЦММ), які можуть бути використані для вирішення задач проектування, будівництва та експлуатації будівель і споруд.

Аерознімання протягом декількох десятиліть є одним із найефективніших інструментів виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень й проведенні різних видів моніторингу. Сучасні технології створення містобудівної документації ґрунтуються саме на використанні матеріалів цифрового аерознімання. Тому актуальною проблемою сьогодення є налагодження системного та оперативного оновлення муніципальних карт з використанням сучасної техніки, повітряного знімання й використанням цифрових технологій. Це завдання вирішується за допомогою фотограмметрії, яка й надалі є головним джерелом картографічних і топографічних даних у ГІС [13].

Застосування аерофотознімання за допомогою БПЛА обумовлюється економічною доцільністю чи відсутністю інших технічних та практичних можливостей отримання достовірних топографічних матеріалів. Для знімання використовують спеціалізовані БПЛА. При виборі аерофотознімального комплексу, який включає БПЛА і програму обробки польотних даних, необхідно враховувати документацію щодо технології отримання та обробки матеріалів, необхідних для забезпечення відповідності побудованих ортофотопланів і ЦММ вимогам діючих нормативно-технічних документів [1].

За необхідності проводиться комбіноване аерофототопографічне знімання, з використанням супутникових технологій, тахеометричним методом, наземним лазерним скануванням, цифровим аерофотозніманням, а також поєднанням різноманітних способів. Методи, які при цьому будуть

використовуватись повинні забезпечувати точність знімання ситуації і рельєфу.

Середні похибки визначення планового положення предметів та контурів місцевості з чіткими, легкорозпізнавальними межами відносно ближчих пунктів геодезичної основи не повинні перевищувати в масштабі плану на незабудованій території 0,5 мм на відкритій місцевості і 0,7 мм – для гірських і заліснених районів.

Середні похибки знімання рельєфу і його зображення на інженерно-топографічних планах чи ЦММ відносно ближчих точок знімального обґрунтування не повинні перевищувати від прийнятої висоти січення рельєфу:

- $\frac{1}{4}$ – при кутах нахилу місцевості до 2° ;
- $\frac{1}{3}$ – при кутах нахилу місцевості від 2° до 6° для планів в масштабах 1:5000 та 1:2000 і від 2° до 10° – для планів в масштабах 1:1000, 1:500 та 1:200;
- $\frac{1}{3}$ – при висоті січення рельєфу 0,5м для планів в масштабах 1:5000 та 1:2000.

Для заліснених ділянок місцевості (закритих територій) вказані величини при обґрунтуванні в програмі робіт допускається збільшувати в 1,5 рази [6].

При аерофотознімання за допомогою БПЛА необхідно враховувати фактори, які перешкоджають виконанню робіт:

- наявність рослинності;
- переломи місцевості (тріщини, щілини, які важко дешифрувати за даними аерофотознімання);
- неможливість дешифрувати окремі елементи знімання (звіси дахів і карнизів будівель, однотонні об'єкти АФЗ, забруднення дорожнього полотна тощо);
- сезонність (погодні умови, наявність снігового покриву);
- наявність тіней, хмар, виробничих димів та атмосферної димки, які утруднюють чи унеможливають процес дешифрування;

- наявність об'єктів з високою відбиваючою властивістю (поверхня води, сніговий покрив);
- наявність і висотність забудови (висотні споруди, телекомунікаційні вишки).

Технічне оснащення БПЛА повинне забезпечувати безпечне виконання польотів з врахування географічних особливостей території України [9].

Виокремлюють три етапи робіт для проведення аерофотознімання: підготовчий, польовий та камеральний.

Підготовчий етап включає:

- збір і аналіз інформації про об'єкт робіт;
- проектування / планування польотного завдання;
- планування встановлення опознаків;
- метеорологічне забезпечення;
- розрахунок параметрів польоту.

Польовий етап включає:

- створення планово-висотної підготовки аерофотознімання;
- забезпечення безпеки під час польоту БПЛА;
- підготовка обладнання і виконання аерофотознімання;
- отримання результатів знімання;
- польове дешифрування, уточнення ситуації на момент знімання.

Польове дешифрування, яке входить в склад робіт повинне включати наступні види робіт:

- знімання підземних та надземних комунікацій;
- знімання об'єктів, скритих для АФЗ (переломи рельєфу, труби, зв'язи дахів і карнизів будівель).

Камеральний етап включає:

- камеральна обробка геодезичних вимірювань для отримання координат і висот планово-висотного обґрунтування;
- фотограмметричної обробки даних аерофотознімання;
- отримання топографічного плану необхідного масштабу;

- складання звіту з інженерно- геодезичних вишукувань [10].

Основні вимоги до топографічних карт та планів викладені в нормативних документах:

- Постанова Кабінету Міністрів України від 04.09. 2013р. № 661 «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» [19];
- Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000 - 1:500. (ГКНТА-2.04-02-98) [6].

Порядок загальнодержавного топографічного і тематичного картографування визначає механізм створення та оновлення державних топографічних і тематичних карт у графічній, цифровій, електронній, фотографічній та іншій формі [19].

В *Інструкції з топографічних знімків для масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500* викладені нормативні вимоги до виконання повного комплексу робіт великомасштабних топографічних знімків: «Топографічне знімання (топозйомка) – це комплекс геодезичних робіт, що виконуються на місцевості для складання топографічних карт і планів. Масштаб зйомки обирають в залежності від призначення топографо-геодезичних робіт, переріз рельєфу приймають у відповідності до обраного масштабу зйомки та ухилу місцевості даної території. Масштаби і висоти перерізу рельєфу топографічних зйомок, точність, детальність, повнота і оформлення топографічних планів та інших топографо-геодезичних матеріалів повинні відповідати вимогам основних положень Інструкції з топографічного знімання» [6].

Ортофотоплан місцевості – фотографічний план місцевості на точній геодезичній основі, отриманий шляхом ортотрансформування пташиного польоту з центральної проекції в ортогональну. При створенні ортофотоплану використовують методи фотограмметричної обробки. Основне завдання, яке вирішується при створенні ортофотоплану, – приведення зображення до єдиного масштабу по всій площі.

За допомогою методів фотограмметрії можна обробляти зображення,

які отримані як в оптичному діапазоні, так і радіолокаційному. Враховуючи сучасний рівень розвитку програмного забезпечення та методів фотограмметричної обробки, в сучасному суспільстві інструментом для фотограмметричної зйомки може служити стільниковий телефон із відеокамерою [8].

Методи фотограмметрії використовують методи дистанційного зондування. *Дистанційне зондування* – це отримання інформації про віддалені об'єкти без прямого контакту з ними. До переваг методів фотограмметрії можна віднести: високу точність, яка обумовлена тим, що знімальні системи, які використовуються калібруються та їх геометрія відома; висока продуктивність, оскільки за короткий термін можливе отримання інформації про стан всього об'єкта та його окремих частин, об'єктивність та достовірність результатів вимірювань, можливість оперативне отримання вимірювань; безпеку виконання робіт, оскільки вони виконуються безконтактним способом [5].

Одним із основних напрямків методів фотограмметрії є отримання геоприв'язаних ортофотопланів та цифрових моделей місцевості, а також дослідження об'єктів на них. Завдяки здешевленню легких та надлегких БПЛА вертолітного та літакового типів, з'явилася можливість виконувати побудову ортофотопланів місцевості високої точності (до 3 см в плані). Це відповідає вимогам щодо точності визначення координат характерних точок меж земельної ділянки, а також контурів будівель, споруд або об'єктів незавершеного будівництва на земельній ділянці, а саме:

- земельні ділянки, віднесені до земель населених пунктів – не більше 0,1 м;
- земельні ділянки, віднесені до земель сільськогосподарської призначення та надані для ведення особистого підсобного, дачного господарства, городництва, садівництва, індивідуального гаражного або індивідуального житлового будівництва – не більше 0,2 м [7].

Дослідження відбувається у три основні етапи: фотограмметрична зйомка, геодезичний етап, камеральна фотограмметрична обробка.

За типом проведення фотограмметричної зйомки розрізняють: наземну фотограмметричну зйомку; аерозйомку та космічну зйомку. При наземному зніманні прилади встановлюються на поверхню Землі. Це може бути як спеціальне фотограмметричне обладнання, наприклад фототеодоліти та спеціалізовані фотоапарати, і звичайні камери. При аерофотозйомці вона здійснюється з повітряного простору, як з пілотованого, так і з безпілотного апарату. Космічна зйомка проводиться з космічних апаратів [3].

На геодезичному етапі за допомогою геодезичних приладів або картографічними методами визначаються координати у потрібній системі координат точок, що з'явилися на знімку. В результаті отримують каталог контрольних точок, що використовуються на наступному етапі.

На етапі камеральної фотограмметричної обробки одержують необхідну модель за матеріалами зйомки (карти, тривимірна модель, двовимірна модель) [9].

Кваліфікаційна робота буде виконуватись методично, послідовно, у відповідності до основних вимог щодо виконання проекту, із застосуванням творчого підходу до вирішення основних завдань проекту та використанням навичок, отриманих у ході періоду навчання.

1.2. Історія виникнення безпілотних літальних апаратів

З розвитком технологій в сфері повітряної авіації винахідники приймали спроби створення безпілотних літальних засобів (БПЛА), пізніше вони отримали назву «дрон» чи «безпілотник». Спочатку поштовх в розвиток і застосування дронів дала військова індустрія, але сьогодні використання дронів знаходить все ширше застосування в громадсько-суспільному житті.

В 1889р. знаменитий винахідник Нікола Тесла представив світу перший радіокеруєме судно. Однак, в подальшому об'єктами радіокерування стали не кораблі, а БПЛА.

У 1910 році, американський військовий інженер Чарльз Кеттерінг запропонував використовувати літальні апарати без участі

людини. На його думку керований годинниковим механізмом пристрій у заданій точці повинен був відкидати крила та падати, як бомба, на ворога. Отримавши фінансування армії США, він побудував і з перемінним успіхом випробував кілька пристроїв, які отримали назви «The Kattering Aerial Torpedo», «Kettering Bug», але в бойових діях вони так і не застосовувалися. У Німеччині розробляється проєкт радіокерованого безпілотного бомбардувальника «Fledermaus».



Рис. 1.1. Безпілотний літак-снаряд «Жук» Кеттерінга (1917р.)

Вперше вдале використання безпілотних літальних апаратів почалось в 1933р. Тоді, в Англії, був сконструйований радіокеруючий апарат (рис. 1.2), який виконував роль цілі для тренування льотчиків. Використовували такий метод тренування аж до 1943р.



*Рис. 1.2. Перший БПЛА, керований дистанційно Н.82В QueenBee
(1933-1943 рр.)*

Що стосується квадрокоптерів, то їх розвиток розпочався в 20-ті рр. ХХ століття. В ті часи незалежно один від другого конструюванням квадрокоптерів займалися два інженери- конструктори: Георгій Ботезат та Етьєн Емішен. Вони обидва змогли сконструювати пілотований апарат, який через непросту систему трансмісії передавав потужність від двигуна до чотирьох гвинтів. Однак, не дивлячись на непогані результати (вертольоти могли пролітати відстань більше 1000м при висоті більше 10м), вони пройшли лише тестові випробування. На це було декілька причин:

- трансмісія, яка передавала обертаючий момент гвинтам квадрокоптера, часто ламалась, причиною цього була її складна конструкція і ненадійність;

- для управління напрямком руху в конструкції Етьєна Емішена використовувалось 8 гвинтів, які не добавляли їй надійності; а в апараті Георгія Ботезата (рис. 1.3) єдиною можливістю руху був напрямок попутного вітру;

- в повітрі квадрокоптери вели себе вкрай непередбачувано та нестійко, оскільки системи стабілізації вони не мали.



Рис. 1.3. Апарат Георгія Ботезата

В 1950-ті рр. зросла цікавість до квадрокоптерів, внаслідок чого деякі компанії взялись за розробку дослідних зразків квадрокоптерів. В 1956

Георгій Ботезат сконструював удосконалений зразок свого апарату (рис. 1.4).

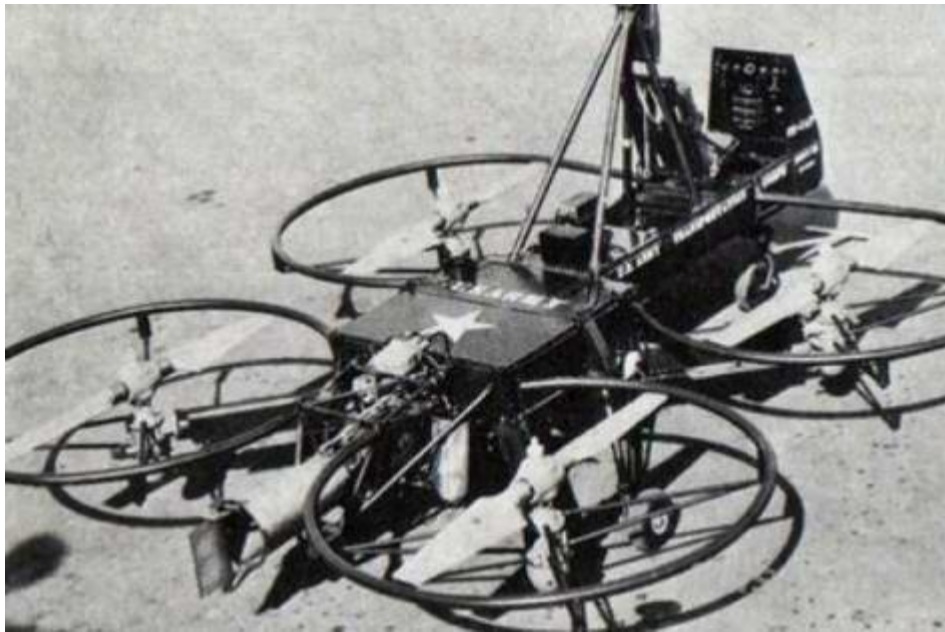


Рис. 1.4. Квадрокоптер Георгія Ботезата (1956р.)

Однак це були ширше дослідні зразки і вони не знайшли подальшого застосування, причина була в експлуатаційних характеристиках цих пристроїв. В подальшому до розробки моделей квадрокоптерів повернулись лише через 50 р. Цьому сприяли наступні умови:

- 1) досягнення в галузі матеріалознавства дозволило створити міцні та легкі полімери, які суттєво зменшують вагу пристрою;
- 2) управління квадрокоптером ставало все більш простим і головне – стабільним, завдяки появі мікропроцесорів.

Квадрокоптери, які ми представляємо сьогодні, вперше появились в 2006 р. Засновником стала німецька компанія MikroKopter. В конструкцію квадрокоптерів того часу вже входили: акселерометр, барометр, гіроскопи, пізніше був добавлений GPS-модуль. Спочатку квадрокоптери цієї компанії були призначені для професійної діяльності, в основному із-за дороговизни. Але тут свою роль відіграв вихідний код квадрокоптера, який був відкритий. Тому на ринку з'явилися більш дешеві моделі апаратів, що негативно вплинуло на продажі MikroKopter. Незважаючи на те, що код в подальшому закрили, світ побачив, що попит на більш дешеві дрони дуже

великий. Саме тому інші фірми стали розробляти дрони в різній ціновій політиці.

Ще однією важливою технологією, завдяки якій квадрокоптери з'явилися на широкому ринку, була стабілізована підвіска. Вона дозволила модернізувати дрон, додавши до нього камеру. Дана система працює таким чином, що обладнання (в даному випадку камера) залишається в нерухомому стані, що компенсується за рахунок датчиків, які визначають положення дрону в повітрі за осями. Ця технологія дозволила застосування квадрокоптерів в військовій справі, геодезії, будівництві, кіноіндустрії, логістиці й інше.

РОЗДІЛ 2

ПОЛЬОВІ АЕРОФОТОЗНІМАЛЬНІ РОБОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

2.1. Технологія проведення робіт за допомогою безпілотних літальних апаратів

Для отримання геоприв'язаного ортофотоплану місцевості відповідного масштабу за роздільною здатністю та за точністю, при проведенні підготовчих та авіаційних робіт слід дотримуватися певної методики отримання вихідних даних. Якщо аерофотозйомка проводиться на БПЛА без встановленого геодезичного приймача на борту, під час підготовки досліджуваної місцевості слід забезпечити достатню кількість рівномірно рознесених на місцевості контрольних точок, що використовуються для подальшої камеральної обробки для географічної прив'язки ортофотоплану території.

Також особливу роль відіграє вибір знімального обладнання та безпілотного літального апарату. В даний час в основному використовуються два типи БПЛА: літакового та вертолітного типу. БПЛА літакового типу відрізняються більш високою продуктивністю та здатні нести на своєму борту важче корисне навантаження. До недоліків можна віднести високу вартість БПЛА літакового типу в порівнянні з вертолітним, а також необхідність наявності злітно-посадкового майданчика біля об'єкту дослідження, що не завжди можна здійснити. Такий тип БПЛА використовується переважно під час зйомки лінійних чи великих площинних об'єктів.

БПЛА вертолітного типу, як правило, коштують набагато дешевше. Час їхнього польоту обмежено 20-40 хвилинами. На своєму борту БПЛА вертолітного типу, як правило, в якості корисного навантаження є RGB-датчик зображень різної здатності (12-20 Мп). Корисне навантаження кріпиться на гіростабілізований підвіс, що забезпечує гасіння вібрацій, які

виникають під час польоту від вітру та роботи двигунів.

В комплект для проведення аерофотознімання повинен входити БПЛА з бортовим і/чи наземним GNSS приймачем геодезичної точності, бортовим комплексом управління, авіоніки, корисного навантаження і наземної станції управління.

Бортовий комплекс управління складається з:

- автопілота;
- навігаційної систем;
- приймача супутникової навігаційної системи для реєстрації центрів фотографування;
- системи інерційних датчиків;
- накопичувача польотної інформації.

Основною задачею БПЛА є виконання польотного завдання, отримання даних аерофотознімання і реєстрація центрів фотографування. Цей набір даних є мінімальним для подальшого камерального опрацювання.

До корисного навантаження для задач аерофотознімання відноситься фотокамера. Як доповнення можуть використовуватись системи стабілізації знімального обладнання, відеокамера, інфрачервона камера та інше.

Функції наземної станції управління (НСУ):

- формування/компіляція польотного завдання і його завантаження в автопілот;
- слідування за польотом;
- прийом даних;
- передача команд управління.

Задачі НСУ:

- підтримка зв'язку з БПЛА під час польоту;
- отримання інформації про стан і місцезнаходження БПЛА;
- виконання команд оператора (при виникненні позаштатних

ситуацій).

Все обладнання, яке використовується повинно мати необхідні сертифікати та повірки, в тому числі сертифікат про придатність до польотів, якщо такий необхідний для експлуатації БПЛА.

Польоти БПЛА рекомендується виконувати в автоматичному режимі за попередньо запроектованими маршрутами. Такий режим дозволяє зменшити помилки, які виникають при пілотуванні БПЛА, підвищити безпеку робіт. В якості додаткової інформації необхідно проводити запис даних телеметрії про відхилення БПЛА від виконання заданих параметрів. Кількість і точність даних визначаються вимогами програмних продуктів опрацювання.

Загалом для всіх типів БПЛА процес проведення підготовчих та авіаційних робіт виглядає наступним чином (рис. 2.1).

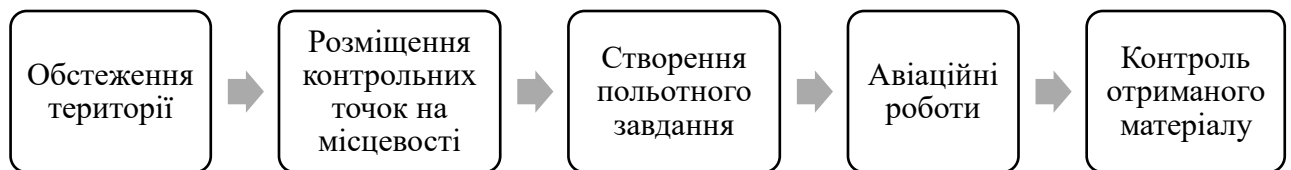


Рис. 2.1. Блок-схема основних авіаційних робіт

1. Обстеження території. На цьому етапі проводиться обстеження досліджуваної території місцевості. Оцінюється рельєф місцевості, густота забудови, залісення тощо. Якщо немає можливості обстежити територію фізично, використовують відкриті джерела інформації, наприклад, супутникові знімки, дані про рельєф і т. д. Перевіряють наявність зон, заборонених для польотів БПЛА. На підставі зібраної інформації приймається рішення про необхідний тип БПЛА для проведення робіт. Після аналізу рельєфу місцевості вибирають спосіб виконання польоту. БПЛА: з урахуванням зміни підстилаючої поверхні або на постійній висоті щодо точки старту.

2. Розташування контрольних точок. Незалежно від того, який

тип БПЛА буде використаний (літакового або вертолітного типу, з геодезичним приймачем на борту або без нього), на місцевості розташовуються контрольні точки, координати яких точно визначено супутниковим геодезичним обладнанням. Контрольними точками можуть бути будь-які локальні об'єкти, що легко розпізнаються на знімках, як природного походження (дорожня розмітка, каналізаційний люк тощо), так і штучно створені, наприклад контрастне коло невеликого розміру, контрастний хрест тощо.

Якщо на досліджуваній території є зона покриття мобільного зв'язку або між роверним приймачем та базовою станцією налагоджено радіозв'язок, координати контрольних точок можуть бути визначені в реальному часі режимі Real Time Kinematic (RTK). Якщо стільниковий та радіозв'язок відсутній, то вдаються до вимірювань координат контрольних точок у режимі Post Processing Kinematic (PPK).

Розташування контрольних точок чітко не регламентується, чим їх більше, тим якісніше можна визначити точність підсумкового ортофотоплану місцевості на окремо взятих ділянках.

Якщо польоти планується здійснювати на БПЛА без геодезичного приймача на борту, то кількість контрольних точок вибирається максимальною, так як половина з них буде використана для географічної прив'язки растру, а інша – для перевірки точності географічної прив'язки.

3. Створення польотного завдання. Для створення польотного завдання використовується різне спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), як безкоштовне, так і платне. Основні відмінності полягають в обсязі функціоналу. Так, деяке ПЗ дозволяє не тільки створювати польотні завдання, а й контролювати параметри експозиції безпосередньо під час польоту.

Під час створення польотного завдання слід враховувати рельєф досліджуваної місцевості, тому що при мінливому рельєфі можна не тільки порушити взаємне перекриття знімків, наприклад, якщо не враховувати

наявність пагорбів, а й вчинити аварію. У цьому випадку слід планувати висоту польоту БПЛА по рельєфу місцевості, де за нуль метрів приймається точка старту БПЛА.

Такий параметр, як висота польоту, вибирається виходячи з параметрів відеокамери, встановленої на БПЛА, та вимог щодо кінцевої роздільної здатності майбутнього ортофотоплану місцевості (воно вимірюється у сантиметрах на піксель).

Поздовжнє і поперечне перекриття аерофотознімків вибирається з характеру підстилаючої поверхні. При міській забудові вимоги до перекриття зростають і можуть досягати 80% поздовжнього перекриття аерофотознімків та 70% – поперечного. Чим гладкіший рельєф і чим менше розміщених на ньому об'єктів, тим менше вибирається перекриття. Наприклад, для сільськогосподарських полів воно становить приблизно 70% поздовжнього та 55% поперечного перекриття зображень.

4. *Авіаційні роботи.* Безпосередньо перед виконанням авіаційних робіт відбувається передпольотний контроль основних вузлів БПЛА. Перевіряється працездатність двигунів, інерційної системи, цілісність силової конструкції, робота відеокамери. Під час польоту БПЛА здійснює рух згідно із завантаженого польотного завдання. Оператор відстежує основні параметри телеметрії, коли необхідно, змінює параметри експозиції, що найбільш підходять під умови освітленості території.

5. *Контроль отриманого матеріалу.* Після посадки БПЛА важливо здійснити контроль отриманого матеріалу. До нього відноситься перегляд отриманих зображень місцевості, а також даних з GNSS -модуля. БПЛА обох типів під час зйомки стикаються з проблемою появи на зображеннях різних спотворень. Природа спотворень переважно пов'язана з неідеальністю оптичної системи відеокамер, встановлених на БПЛА, наприклад, спостерігається дисторсія на краях зображень. Також проблемою є змазаність зображень, викликана недостатньо короткою експозицією при зйомці з БПЛА, що рухається. Внаслідок появи змазаності на зображеннях

порушується їх суб'єктивне сприйняття, а також зменшується точність географічної прив'язки кінцевого ортофотоплану місцевості.

Спотворення зображень також відбувається, коли на БПЛА встановлена камера з КМОП-сенсором і зчитуванням затвором (rolling shutter). Також під час проведення авіаційних робіт важливо, щоб дані, які одержують від спостереження за супутниками, не були спотворені сильніше порогових значень. В іншому випадку, якщо на БПЛА встановлено геодезичний приймач та географічну прив'язку зображень планується виконувати за отриманими з нього даними, точність таких ортофотопланів місцевості буде вкрай низька. Для виправлення помилок можливо потрібно виконання повторних авіаційних робіт або отримання координат контрольних точок на місцевості, що не завжди можна реалізувати.

2.2. Характеристика об'єкту проектування

Роботи по виконанню кваліфікаційної роботи будуть проводитись на території Фонтанської сільської територіальної громади Одеського району Одеської області. Утворена громада 17 липня 2020 року в результаті об'єднання Фонтанської сільської ради із Крижанівською, Олександрівською і Новодофінівською сільськими радами. В склад територіальної громади увійшло 5 сіл (Вапнярка, Крижанівка, Нова Дофінівка, Олександрівка та Фонтанка) та 2 селища (Ліски та Світле). Адміністративний центр – село Фонтанка. Зі сходу Фонтанська територіальна громада межує з Чорноморською територіальною громадою, з півночі с Красносільською територіальною громадою, з заходу знаходиться в обіймах міста-героя – Одеси, а на півдні омивається Чорним морем.

Площа громади становить 96 км², кількість населення – 24276 осіб, густота населення – 227,07 осіб/км².

У громади є вихід на узбережжя Чорного моря та Дофінівського лиману, на території розташований ландшафтний заказник місцевого значення “Лузанівський ліс”.

Об'єктом кваліфікаційної роботи виступає оздоровчий центр

Рекреаційний комплекс " ТАРТУС" на території с. Ліски. Унікальність розташування котеджного містечка в тому, що неподалік знаходиться лісова зона - Лузанівський ліс і море.

РК « ТАРТУС» знаходиться на північному узбережжі Одеської затоки, приблизно на відстані 1 км західніше мису Північного Одеського. Він охоплює ділянку побережжя Чорного моря протяжністю 600 метрів.

Клімат на Одеському узбережжі помірно-континентальний з м'якою зимою та жарким літом. На клімат прибережної смуги значно впливають водяні маси Чорного моря, згладжуючи його континентальність, зменшуючи контрасти температури в річному та добовому плині, збільшуючи тумани, хмарність та вологість.

Середньорічна температура повітря дорівнює 10.3° , максимальна досягала 37° , мінімальна падала до мінус 27°C . Найхолодніші місяці – січень, лютий. В середньому за рік буває 60 днів з мінусовою середньодобовою температурою, з морозом – 80 днів.

Морозні періоди часто змінюються відлигами. Середня протяжність безперервного морозного періоду 4 дні, найбільша – 39 днів. Максимум морозних днів в році досягав 107 (зима 1953 – 54 рр.) Початок зимового періоду прийнято вважати серединою грудня, кінцем – першу п'ятиденку березня. Протяжність безморозного періоду: середня – 234 дня, найменша – 206 днів, найбільша – 268 днів.

Заморозки на ґрунті залежать від місцевих умов: мікрорельєфу, експозиції схилу, механічних властивостей ґрунту, наявності снігового покриву та ін. Найбільша глибина промерзання ґрунту – 700 мм.

Одеське побережжя відноситься до зони з недостатньою вологістю. Середня багаторічна кількість опадів рівна 460 мм. Змінність сумарної річної кількості опадів дуже велика: найбільша 548 мм, найменша 180 мм. В літній період опадів випадає майже стільки, як і взимку, але число днів з опадами влітку менше, ніж взимку. Літом бувають сильні зливи, коли за декілька годин випадає до 50 мм опадів, добовий максимум досягає 90 мм.

Тумани на Одеському побережжі частіше за все спостерігаються в

холодну пору року з листопаду по березень місяць, коли в середньому в місяць буває 5 – 7 днів з туманом. За рік буває в середньому 39 днів з туманами, з яких 31 день приходить на холодний період та 8 днів на теплий. Середня тривалість туманів за рік – 242 години, найбільша – 344 години.

Вітровий режим в районі проектування можна характеризувати спостереженнями МГС Одеса – порт, за якими побудовані сезонні та річні рози вітрів. На протязі року переважають північні вітри. Їх сумарна повторність складає 43%. Весною та літом на побережжі виникають бризові вітри. Швидкість вітру має сезонний хід. На протязі року переважають слабкі вітри (1 – 5 м/с) їх повторність в році 45%, влітку збільшується до 58 %, а взимку зменшується до 40%. Швидкість бризових вітрів невелика: берегового – 3-4 м/с, морського – 4- 5 м/с.

В якості розрахункового вітру хвиле небезпечних напрямків прийнята швидкість вітру до 25 м/с для споруд III класу капітальності. Гідрологічний режим північно-західного району Чорного моря зумовлений його мілководдям та великим річковим стоком. Не дивлячись на сильні вітри, хвилювання в ньому не досягає великих розмірів. Сольність та рівень моря в значній мірі залежать від стоку рік.

Середньорічна температура води за багаторічний період 11,1°. По місяцям середня температура змінюється від 0,9° в лютому до 20,7° в серпні.

Льодовий період в Одеській затоці відмічається своєю нерегулярністю. За час зими льодовий покрив значно нестійкий і очищення від льоду буває декілька разів на зиму. Так за більш як 30 річний період, стійка поява льоду була тільки на протязі 7 зим. Протяжність льодового сезону коливається в великих межах: від 1 до 107 днів. Середнє число днів з льодом в рік становило 18 днів. Максимальна товщина льоду при природному наростанні 40 см, середня з максимальних 26 см.

Рівень моря в Одеській затоці має великі коливання, величина яких визначається ступенем впливу слідуючих факторів: материкового стоку, опадів, випаровування, різких коливань атмосферного тиску, а також

трансгресивний цикл в розвитку рівня світового океану.

В геоморфологічному відношенні територія розміщена в межах між Причорноморської низини, на південній частині водорозділу між Куяльницьким та Великим Аджаликським лиманом. Сучасний рельєф даного району сформувався під впливом екзогенних геологічних процесів, що включають абразію, ерозію, зсуви, обвали. При цьому виділяються слідуючі генетичні форми рельєфу: плато, зсувний схил.

Поверхня плато слабо хвилюва, полого нахилена в сторону моря. Відмітки плато 35,8 – 39,8 м. Схил являє собою зсувний амфітеатр, в рельєфі якого виділяються зсувні східці та вали, крупно – бугристі форми, западини, виступи та тріщини. Ширина схилу 100 – 170 метрів. В рельєфі верхніх та нижніх частин схилу спостерігаються зсувні східці, обвали, тріщини розтягнення, деформовані споруди, що з'явилися недавно. В сторону моря схил обривається виступом (кліфом) висотою від 3 до 10 м з найбільш активним по деформаціям в західній частині.

Пляж на даному побережжі вузький, шириною 2 – 7 метрів з абсолютними відмітками – 0, 2- 0,8 м. Підводний схил пологий з глибиною на відстані 50 метрів від урізу не більше 1,3-1,6 м.

Північно-західне побережжя Чорного моря відносить до району з високим ступенем вивченості литодинамічних процесів на побережжі. При цьому Одеське побережжя та прилягаючі до нього території виділяються як найбільш досліджені.

Формування рельєфу сучасної берегової лінії та шельфу визначаються трансгресивним циклом в історії розвитку Чорноморського басейну на сучасному етапі геологічного розвитку, пов'язаним з неотектонічним рухом земної кори.

Підйом рівня світового океану та наступ моря на сушу супроводжується інтенсивним розвитком абразії берегового виступу, верхньої частини шельфу в одних районах та процесів пере відкладання(акумуляції) розмитого матеріалу в інших районах. Крім того, морфологію берегової лінії, характер рельєфу дна моря та розподіл фацій донних

відкладень контролюють неотектонічні розломи, що розвиваються на основі принципу послідовності давнім зонам розламів в докембрійському фундаменті. Сучасні ведучі екзогенні процеси – це абразія та зсуви, обвали.

Геологічні умови даної ділянки побережжя зв'язані з розвитком зсувних процесів, які деформують кореневі ґрунти на глибину до 6,5 – 8,5 і нижче рівня моря.

На зсувному схилі прослідковуються декілька терас, які зв'язані з циклічністю небезпечного геологічного процесу. Згідно регіональної класифікації зсувів в межах Дністровсько-Дніпровського регіону, зсув який розглядається відноситься до глибоких зсувів.

Атмосферні і ґрунтові води сприяють зниженню міцності поверхневих ґрунтів схилу, але основний фактор активізації зсувних процесів це абразія побережжя. Головна причина розвитку зсувів – це перенавантажений стан ґрунтів (меотичних глин) в основі схилу. Цьому процесу сприяє і природа меотичних глин, які мають підготовчі поверхні зміщення і реологічну схильність.

Геологічна будова плато характеризується наявністю (зверху вниз) :

- лесовидних суглинків твердої консистенції загальною потужністю до 5,8 м.
- червоно-бурих глин твердої консистенції загальною потужністю до 9,8 м.
- піщано-глинистих утворень Куяльницького ярусу загальною потужністю 4,0 м.
- понтичних вапняків – ракушняків досить малої потужності (до 1 м) з підстиляючим малопотужним шаром пісків і пластичного супіску.
- меотичних глин, супісків, пісків і суглинків.

Зсувний схил з його зсувними накопиченнями складається із деформованих порід корінного плато. Потужність зсувних накопичень змінюється від 5 м до 27м.

Основним природним фактором, що визиває активізацію зсувного процесу являється абразія, що сприяє пересуванню ґрунта до підніжжя

схилу та збільшує крутизну схилу. Ґрунтові води сприяють дії фільтраційного тиску та підвищенню об'ємної маси ґрунтів, зниженню пружності порід на окремих ділянках схилу.

Сучасний стан морського побережжя в межах РК «ТАРТУС» довжиною до 600 метрів характеризується техногенною дією на східному фланзі та активними діями екзогенних, небезпечних геологічних процесів на всьому іншому побережжі: абразією, зсувами та площинним змивом.

На західному фланзі знаходиться спуск – з'їзд з плато на зсувний схил в створі вулиці Приморської з відбитками деформацій та виходами ґрунтових вод. На східному фланзі знаходиться капітальний з'їзд з плато на територію контр банкета та зсувний схил в зоні ПО „Холодмаш”. Вздовж верхньої бровки плато розміщені дачні ділянки та забудови. На зсувному схилі відсутня забудова, є окремі ділянки з зеленими насадженнями.

На східному фланзі виконаний комплекс протизсувних та берегоукріплюючих робіт ПО „Холодмаш” в 1980 році з виположуванням схилу та пасивним відкосним берегоукріпленням, що захищає контрбанкетну форму. Активність зсувних деформацій прогресує з сходу на захід.

РК «ТАРТУС» розміщений в північній частині Одеського заливу на відстані 2,30 км від мису Північний Одеський. Відмітки корінного плато достатньо високі 36 м, ширина зсувного схилу становить 105 – 165 м, підводний схил характеризується достатньою пологістю. Ухили дна до 4 метрової ізобати становлять 0,005, а до 8 м 0,002. Азимут берегової лінії становить в середньому 120°, що сприяє дії хвиль (хвилювання) в деякому звуженому секторі. В основному, на побережжі діють хвилі південно-західного, східного і південно-східного напрямків. Західні румби хвиль незначні по величині, а східні – екрановані мисом Північний Одеський.

Однак, і цей звужений сектор хвиль розвиває дію хвиль з достатньо косим підходом ($d = 28^\circ - 13^\circ$) до лінії берегу, що сприяє активному скосу наносів в вершину Одеського заливу – в район Лузановки. Тому всі побережжя цього району характеризуються активним абразійним процесом і

відсутністю хвильозахисних пляжів.

Вздовж берегові потоки наносів мають незначну потужність і їх результативний потік направлений проти годинникової стрілки в сторону вершини Одеського заливу.

Аналіз фізико-географічної характеристики району робіт показав, що природно-екологічні умови в даному районі цілком сприятливі для розробки даної тематики кваліфікаційної роботи.

2.3. Прилади для польових вимірювання

Квадрокоптер – це прилад, призначений для виконання фото та відеозйомки земної поверхні та об'єктів на ній. Представляє собою радіокерований літальний прилад з чотирма гвинтами, які обертаються в протилежні сторони по діагоналі: одна пара пропелерів обертається за годинниковою стрілкою, а інша – проти годинникової стрілки.

Маневрування, управління і стабільність польоту в квадрокоптера забезпечується зміною швидкості обертання пропелерів, частина роторів обертається проти годинникової стрілки, а частина – за годинниковою, кожен із них приводиться в рух окремим мотором, тому не має необхідності в хвостовому гвинті. Якщо ротори обертаються з однією швидкістю, апарат злітає, якщо один пропелер обертається швидше, то дрон нахиляється в сторону. Таким чином, регулюючи дистанційним пультом роботу лопостей, можна управляти дроном.

В даній кваліфікаційній роботі для виконання аерофотознімання буде використовуватись квадрокоптер *DJI Phantom 4 Pro V 2.0* (рис. 2.2), технічні характеристики якого приведені в табл. 2.1.



Рис. 2.2. Квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro V 2. 0

Таблиця 2.1. Технічні характеристики квадрокоптера
DJI Phantom 4 Pro V 2.0

Характеристики	Параметри
<i>Квадрокоптер</i>	
Вага (включаючи батарею та пропелери)	1375 г
Розмір по діагоналі (без пропелерів)	350 мм
Максимальна швидкість набору висоти	- в режимі S-mode: 6 м/сек
	- в режимі P-mode: 5 м/сек
Максимальна швидкість зниження	- в режимі S-mode: 4 м/сек
	- в режимі P-mode: 3 м/сек
Максимальна швидкість	- в режимі S-mode: 72 км/год
	- в режимі A-mode: 58 км/год
	- в режимі P-mode: 50 км/год
Максимальний кут нахилу	- в режимі S-mode: 42°
	- в режимі A-mode: 35°
	- в режимі P-mode: 25°
Максимальна кутова швидкість	- в режимі S-mode: 250°/s
	- в режимі A-mode: 150°/s
Максимальний практична висота над рівнем моря	6000 м

Характеристики	Параметри
Стійкість до максимальної швидкості вітру	10 м/сек
Максимальний час польоту	біля 30 хвилин
Діапазон робочих температур	від 0° до 40°C
Системи геопозиціювання	GPS / GLONASS
Ступінь точності при літанні	по вертикалі: ± 0.1 м (з візуальним позиціюванням) ±0. 5 м (з позиціюванням по GPS)
	по горизонталі: ±0.3 м (з візуальним позиціюванням) ± 1.5 м (з позиціюванням по GPS)
Візуальна система	
Візуальна система	- передня
	- задня
	- нижня
Діапазон швидкостей	≤50 км/год при 2 м над поверхнею
Діапазон висот	0 - 10 м
Робочий діапазон	0 - 10 м
Діапазон виявлення перешкод	0,7 - 30 м
Кут огляду	спереду: 60°(по горизонталі), ±27°(по вертикалі)
	ззаду: 60°(по горизонталі), ±27°(по вертикалі)
	вниз: 70°(вперед і назад), 50°(вліво і вправо)
Частота вимірювання	- вперед: 10 Гц
	- назад: 10 Гц
	- вниз: 20 Гц
Зовнішні робочі умови	поверхня з чітким рельєфом та нормальним освітленням (lux>15)
Камера	
Матриця	- 1" CMOS
	- ефективні пікселі: 20М
Об'єктив	- кут огляду 84° 8.8 мм/24 мм (35 мм ЭФР)
	- f/2.8 - f/ 11 автофокус при 1 м - ∞

Характеристики	Параметри
Діапазон ISO	Відео: - 100 - 3200 (автоматичний) - 100 - 6400 (ручний)
	Фото: - 100 - 3200 (автоматичний) - 100 - 12800 (ручний)
Швидкість механічного затвору	8 - 1/2000 сек
Швидкість електронного затвору	8 - 1/8000 сек
Розмір зображення	- 3:2 формат: 5472 × 3648
	- 4:3 формат: 4864 × 3648
	- 16:9 формат: 5472 × 3078
Розмір зображення PIV	4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50р)
	3840×2160(3840×2160 24/25/30/ 48/50/60р)
	2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60р)
	1920× 1080(1920×1080 24/25/30/48/ 50/60/120р)
	1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120р)
Режими статичної зйомки	Одиночний кадр
	Серійна зйомка: 3/5/7/10/14 кадрів
	Брекетінг автоекспозиції (АЕВ): 3/5 брекетованих кадрів при зміщенні на 0.7 EV
	Інтервальна: 2/ 3/5/7/10/15/20/30/ 60 сек
Режими запису відео	Кодек H. 265
	C4K:4096×2160 24/25/30р при 100 Мб/с
	4K:3840×2160 24/25/30р при 100 Мб/с
	2.7K:2720×1530 24/25/30р при 65 Мб/с
	2.7K:2720× 1530 48/50/60р при 80 Мб/с
	FHD:1920×1080 24/25/30р при 50 Мб/с
	FHD:1920×1080 48/50/60р при 65 Мб/с
	FHD:1920×1080 120р при 100 Мб/с
	HD:1280×720 24/25/30р при 25 Мб/с
	HD:1280×720 48/50/60р при 35 Мб/с
	HD:1280×720 120р при 60 Мб/с

Характеристики	Параметри
	Кодек H.264
	C4K:4096×2160 24/ 25/30/48/50/60р при 100 Мб/с
	4K:3840×2160 24/25/ 30/48/50/60р при 100 Мб/ с
	2.7K:2720×1530 24/25/30р при 80 Мб/с
	2.7K: 2720×1530 48/50/60р при 100 Мб/с
	FHD:1920×1080 24/25/30р при 60 Мб/с
	FHD:1920× 1080 48/50/60 при 80 Мб/ с
	FHD:1920×1080 120р при 100 Мб/с
	HD:1280×720 24/25/30р при 30 Мб/с
	HD:1280× 720 48/50/60р при 45 Мб/ с
	HD:1280×720 120р при 80 Мб/с
Максимальний битрейт відео	100 Мб/ с
Підтримувані файлові системи	FAT32 (≤ 32 Гб); exFAT (> 32 Гб)
Фото	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Відео	MP4/MOV (AVC/H. 264; HEVC/H.265)
Підтримувані карти SD	Micro SD
	Максимальна ємність: 128 Гб
	Швидкість запису ≥ 15 Мб/с, Клас 10 чи не нижче UHS-1
Діапазон робочих температур	от 0° до 40°C
Підвіс	
Стабілізація	по трьох осях (нахил, обертання, поворот)
Діапазон управління	нахил: від -90° до +30°
Максимальна керована кутова швидкість	нахил: 90°/сек
Діапазон кутових вібрацій	$\pm 0.02^\circ$
Інфрачервоні датчики	
Діапазон виявлення перешкод	0,2 - 7 м
Кут огляду	- 70° (по горизонталі), - $\pm 10^\circ$ (по вертикалі)
Measuring Frequency	10 Гц
Зовнішні робочі умови	Поверхня з розсіяним відображенням та рівнем відображення $> 8\%$ (наприклад, стіни, дерева, люди і т. д.)

Характеристики	Параметри
Пульт дистанційного управління	
Робоча частота	2.400 - 2.483 ГГц и 5.725 - 5.850 ГГц
Максимальна відстань передачі сигналу	2. 400 - 2.483 ГГц (без перешкод та поміх) - FCC: 7 км - CE: 4 км - SRRC: 4 км
	5.725 - 5.850 ГГц (без перешкод та поміх) - FCC: 7 км - CE: 2 км - SRRC: 5 км
Діапазон робочих температур	від 0° до 40°C
Батарея	6000 мА/ч LiPo 2S
Потужність передавача (EIRP)	2.400 - 2.483 ГГц - FCC: 26 дБм - CE: 20 дБм - SRRC: 20 дБм - MIC: 17 дБм
	5. 725 - 5.850 ГГц - FCC: 26 дБм - CE: 14 дБм - SRRC: 20 дБм - MIC: -
Робочий струм/напруга	1.2 А при 7.4 В
Порт відеовиходу	GL300K: HDMI GL300L: USB
Утримувач мобільного пристрою	- GL300K: встроєний дисплей (з екраном в 5.5", формату 1920×1080, 1000 кд/м2, ОС Android, 4 Гб RAM + 16 Гб ROM)
	- GL300L: Планшети та смартфони
Інтелектуальна політна батарея	
Місткість	5870 мА/ч
Напруга	15.2 В
Тип батареї	LiPo 4S

Характеристики	Параметри
Потужність	89.2 Вт/ год
Вага-нетто	468 г
Діапазон температур для зарядки	від 5° до 40°C
Максимальний струм при зарядці	160 Вт
Зарядний пристрій	
Напруга	17.4 В
Споживана енергія	100 Вт
Додаток / Жива трансляція	
Мобільний додаток	DJI GO 4
Робоча частота живої трансляції	2.4 ГГц ISM, 5.8 ГГц ISM
Якість живої трансляції	720P / 30fps, 1080P / 30fps
Затримка передачі сигналу	- DJI Phantom 4 Pro V2.0: 220 мс (в залежності від умов і мобільного пристрою)
	- DJI Phantom 4 Pro + V2.0 : 160 - 180 мс
Сумісні операційні системи	- iOS 9.0 чи пізніше - Android 4.4.0 чи пізніше

DJI Phantom 4 Pro V2.0 завдяки відмінним льотним характеристикам, наявності гіростабілізованої камери з роздільною здатністю 20Мп, яка обладнана EXMOR R CMOS-матрицею в 1 дюйм, може бути використаний як професійний інструмент для аерофотозйомки. У конструкції об'єктива було використано вісім лінз. Камеру оснастили механічним затвором для зйомки з повітря об'єктів, що швидко пересуваються. Обробка відео стала більш якісною та швидкою завдяки застосуванню у відеозйомці кодека H.264 та формату 4K/ 60 fps за максимального бітрейту в 100 Мбіт/с. Однак камера також готова працювати і з кодеком H.265 4K/30 fps.

Політ та зйомка відбувається в повністю автоматичному режимі, що унеможливорює втрату БПЛА внаслідок помилки оператора. Обробка результатів та отримання готового ортофотоплану або іншого виду цифрової моделі можлива у ПЗ Agisoft Photoscan, Pix4D або будь-якій іншій програмі.

Прив'язка цифрової моделі до місцевої або глобальної системи координат відбувається за допомогою наземних розпізнавальних знаків

(добре видимий на аерофотознімку знак або елемент конструкції з відомими координатами).

Від прив'язки до опознаків можна відмовитися, якщо додати в конструкцію БПЛА геодезичний приймач GNSS або придбати повністю готове для геодезичної аерофотозйомки рішення - DJI Phantom 4 PRO Geobox GNSS PPK. У такому разі точність цифрової моделі у вибраній системі координат складатиме від 3 до 7 сантиметрів.

Переваги квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro V2.0.

1. Діагональ матриці 1 дюйм. Знімальний комплекс DJI Phantom 4 Pro V2.0 став подальшим розвитком і вдосконаленням всіх компонентів, що створили блискучу репутацію моделі Phantom 4. Це не тільки технологічний дрон в сімействі Phantom, але і найкращий варіант літаючої камери, оснащеної великою матрицею розміром в 1 дюйм і має дозвіл в 20 Мп. Саме розмір матриці насамперед визначив високу якість кадрів, що надходять із борту DJI Phantom 4 Pro V2.0. Велика матриця має оптимальний динамічний діапазон, знижений рівень шуму та дає відмінні результати навіть за слабкого освітлення. Світлочутливість матриці становить 12800. Вона має покращену контрастність і багато інших переваг для отримання та обробки найкращих знімків.

2. Удосконалений об'єктив. Об'єктив високої роздільної здатності – одна з ключових переваг штатної камери DJI Phantom 4 Pro V2.0. Він гарантує отримання найякісніших та детальних зображень без спотворень та ефекту желе. Кадри виглядають природно і демонструють безліч деталей сцен зйомки. Це забезпечує ширококутний об'єктив, діафрагма якого має фокусну відстань 24 мм і може функціонувати в діапазоні від F/ 2.8 до F/11. Об'єктив, обладнаний вісьмома лінзами, вийшов компактним за рахунок їхнього розміщення в семи групах.

3. Професійне фото та відео. Наявність покращеного процесора обробки зображення – важливий фактор при зйомці та обробці відео на професійному рівні. В результаті власник DJI Phantom 4 Pro V2.0 отримує відеоматеріали, які повністю відповідають DCI. Можливість запису відео у

форматі 4K/60 (4096 x 2160) при бітрейті 100 Мбіт/с допоможе при записі відео slow motion. У камері також є підтримка кодека H.265 (з максимальною роздільною здатністю 4096X2160/30 fps), завдяки чому можна вирішити набагато більше завдань, ніж кодек H. 264. До того ж і результат візуально виглядає набагато якісніше. Використання D-Log під час відеозапису відкриває переваги ширшого динамічного діапазону та допомагає зберегти більше інформації для постобробки. А це – запорука якісного, насиченого кольором та "живого" по сприйняттю відео.

4. Система виявлення перешкод. DJI Phantom 4 Pro V2.0 отримав унікальну систему виявлення перешкод, яка працює за п'ятьма напрямками. Таких результатів розробники досягли за рахунок удосконалення системи FlightAutonomy, установки на бортах літального апарату інфрачервоних датчиків та інших нововведень. Тепер у оператора більше шансів на безпечне пілотування, менший ризик аварій та непередбачених зіткнень у польоті, а також "свобода рук" під час повітряної зйомки.

5. Шість навігаційних камер. Система виявлення перешкод включає комплекс оптичних датчиків, що складається із шести камер. Мережа з трьох комплектів подвійних датчиків допомагає дрону орієнтуватися в польоті, контролюючи його швидкість, визначаючи відстань між дроном та об'єктом, а також запам'ятовуючи ландшафт унизу. Розміщення оптичних датчиків з трьох сторін – на носі, в хвості та внизу – гарантує точність переміщення дрона маршрутом без підключення до цього процесу навігаційних систем типу GPS. Така якість особливо затребувана при польотах усередині будівель та за мінімальної участі пілота в управлінні. Навіть складні умови або часткова відмова датчиків не призведуть до аварії дрона, бо він здатний зависнути на місці, використовуючи непошкоджені датчики, і не врізатися в перешкоду навіть на швидкості 50 км/год або вище. Якщо пілотування здійснюється у вузьких просторах, просто необхідно увімкнути функцію Narrow Sensing.

6. Удосконалена Flight Autonomy. Система Flight Autonomy успішно працює на багатьох нових модифікаціях дронів, оскільки відрізняється

високим рівнем інтелекту та включає цілу систему з різних компонентів. Сім камер (дві попереду, дві ззаду, два оптичних датчика внизу і основна камера), інфрачервоні датчики, модулі GPS і ГЛОНАС, два ультразвукові далекоміри внизу, гіростабілізатори і компаси з резервуванням, а також потужні обчислювальні ядра, – все це забезпечує системі надійне стабільне функціонування у будь-яких умовах. В результаті Phantom 4 Pro V2.0 швидко обробляє інформацію, що надходить із датчиків і камер, вчасно виявляє перешкоди, генерує карту простору в 3D і точно визначає своє місцезнаходження. Резервування гіростабілізаторів та компасу стабілізує роботу всіх систем та запобігає аваріям, викликаним відмовою в роботі основних модулів.

7. Комплекс інфрачервоних датчиків. Оснащення DJI Phantom 4 Pro V2.0 інфрачервоними датчиками стало першим успішним експериментом DJI. Розробники розташували їх по бортах літального апарату, допомагаючи таким чином дрону визначати відстань до об'єктів ліворуч та праворуч шляхом сканування в режимі 3D. Робота інфрачервоних датчиків можлива тільки в режимі пілота-початківця і в режимі штатива, що цілком зрозуміло. Кут огляду датчиків 70° по горизонталі і 20° по вертикалі – гарантія широкого огляду. Це допомагає дрону "побачити" об'єкти на дистанції в 7 м. Також дрон може скористатися інформацією зі звичайних ультразвукових далекомірів, що ефективно працюють на відстанях у 3-5 м. Але інфрачервоні датчики зможуть замінити ультразвукові далекоміри або ефективно доповнити їх у складних ситуаціях, оскільки мають більшу надійність.

8. Пульт дистанційного керування з вбудованою системою OcuSync. Замість системи Lightbridge, що встановлюється на попередніх моделях серії Phantom, в дистанційний контролер Phantom 4 Pro V2.0 була вбудована більш просунута технологія OcuSync. При увімкненому пульті OcuSync здатна сама знайти оптимальну робочу частоту з мінімумом перешкод і переключитися на неї. Пілот може скористатися перевагами OcuSync для бездротового підключення до Phantom 4 Pro V2.0 очок DJI

Goggles. Дистанційний контролер DJI Phantom 4 Pro V2.0 та V2.0+ не може працювати з дронами Phantom 4 Pro та Pro+.

9. Бездротове з'єднання надає пілоту DJI Phantom 4 Pro V2.0 можливість легко підключити до дрона **FPV- окуляри DJI Goggles**. Дисплеї LTPS допоможуть вам повністю зануритися в усі деталі польоту і в реальному часі бачити зображення з бортової камери з високою роздільною здатністю з кутом огляду 85°. Бездротове з'єднання за допомогою технології OcuSync зробить доступним оператору політ у спортивному режимі від першої особи. Функція керування головою в окулярах DJI Goggles перетворить пілотування на ще більш просте і комфортне заняття. DJI Phantom 4 Pro/Pro+ V2.0 сумісні лише з окулярами версії DJI Goggles RE.

10. Інтелектуальні режими польоту. DJI Phantom 4 Pro V2.0 успадкував від свого попередника багато інтелектуальних режимів польоту: Політ по точках / Draw, Активне відстеження / Active Track, Політ одним дотиком / Tap Fly, Повернення на базу / Return To Home, Режим жестів / Gesture. Режим Draw з'явився в сімействі дронів Phantom нещодавно і дозволяє вибудовувати маршрут польоту коптера за маршрутом, який ви зможете створити прямо на дисплеї. При цьому дрон летітиме на тій висоті й у тому напрямку, який задано оператором, а сам пілот зможе займатися зйомками. Камеру можна встановити строго у напрямку вперед або повертати її так, як завгодно. Порівняно новим є також режим жестів, що дозволяє пілоту створювати дроні з бортової камери звичайними рухами рук.

11. Покращені польотні характеристики. Phantom 4 Pro V2.0 отримав удосконалену силову установку, яка включає не тільки оновлений привід для електронних регуляторів ходу, але й значно покращену модифікацію пропелерів з удосконаленою аеродинамікою та зниженим шумом під час зльоту та посадки. Ємна батарея забезпечує до 30 хвилин польотного часу, в рамках якого оператору надається можливість керувати дроном в одному із трьох режимів: P, A та S. P-mode дозволить скористатися традиційними режимами TapFly, ActiveTrack, корисними для зйомки, а також

використовувати функцію розпізнавання перешкод та позиціонування. Нарешті, режим штатива є оптимальним для пілотування всередині будівель і спеціальних режимів зйомки.

12. Покращені пропелери. Спеціально для DJI Phantom 4 Pro V2.0 була розроблена нова модель пропелерів 9455, яка відрізняється покращеною аеродинамікою та зниженим рівнем шуму. Разом з приводами для ERX FOC вони формують стабільніше та надійніше пілотування, підвищуючи також рівень безпеки при керуванні безпілотниками. Так, шум від роботи пропелерів знизився до рівня 4 дБ, що відповідає багатьом національним стандартам для БПЛА.

13. Резервування модулів. У DJI Phantom 4 Pro V2.0 його винахідники повторили вдалу концепцію резервування ключових модулів. Зокрема, цей підхід був використаний щодо гіростабілізаторів та компасу, дублювання роботи яких створює умови для стабільного функціонування всіх систем та безпечного пілотування. Дрон від DJI виявляється більш надійним у порівнянні з конкурентами, адже його компас та датчики тепер дають точну інформацію для бортового комп'ютера навіть при відмові одного з подвійних модулів. Допомагають у цьому також складні алгоритми, що перевіряють дані на ступінь точності та відсівають некоректну інформацію.

14. Додаток DJI GO 4. Додаток DJI GO 4 спеціально розроблявся для нових моделей дронів та знімальних комплексів DJI, тому він оптимальний при виконанні повітряної зйомки. Вона може бути встановлена як на мобільні пристрої, так і на обладнання від DJI. За допомогою цієї програми оператор може керувати дроном у різних режимах пілотування, а також займатися фото- та відеозйомкою. Крім того, результати повітряної зйомки в реальному часі стануть доступними в соціальних мережах та відеоканалах, якщо цього бажає власник дрону. Використання програми спрощує керування камерою та полегшує виконання різних процедур збереження та редагування створених матеріалів.

2.4. Методика проведення польових робіт за допомогою БПЛА на об'єкті знімання

Підготовчі роботи. У роботі розглядається методика, за якої кінцевою метою аерофотозйомки є побудова геоприв'язаного ортофотоплану території оздоровчого центру Рекреаційний комплекс "ТАРТУС" в масштабі 1:500 з телевізійної камери БПЛА вертолітного типу та геодезичним приймачем на борту або зі штатним GPS-приймачем. Структурна схема реалізації даної методики наведено рис. 2.3.

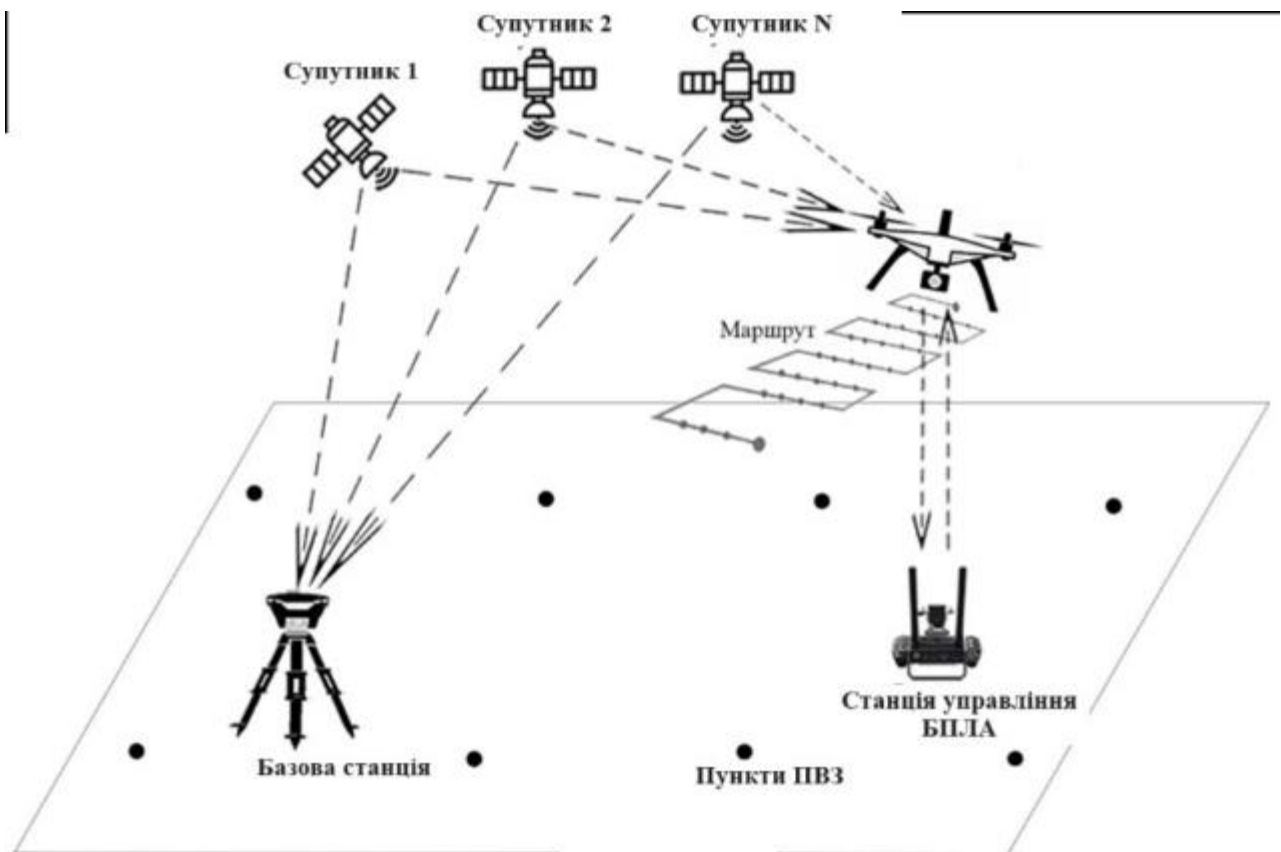


Рис. 2.3. Структурна схема проведення польових робіт за допомогою БПЛА

Нижче детально розглядається кожен із етапів запропонованої методики.

Принцип визначення координат у режимах RTK та PPK. В даний час супутникові приймачі вмонтовані у величезну кількість сучасних гаджетів, наприклад, таких як мобільний телефон, розумний годинник, автомобільні навігатори і т.д. У цьому випадку йдеться про побутові супутникові приймачі з низькою точністю визначення географічних координат, які

визначають місцезнаходження автономно. Для обчислення координат приймачеві необхідно приймати сигнали щонайменше 4 супутників, розташованих рівномірно на небосхилі. Пристрій, обчислюючи відстань, а точніше псевдовідстань до супутників, що визначає власне їх місцезнаходження. Точність визначення координат залежить від класу обладнання, яке застосовується та змінюється від субметрової до сотень метрів.

Якщо потрібна більш висока (сантиметрова) точність визначення координат, застосовуються геодезичні приймачі. У цьому випадку використовуються два приймачі, а виміри називаються відносними. Обчислюються координати одного приймача (ровера) відносно іншого (бази), точні координати якого відомі. Визначення координат, як правило, відбувається у двох режимах, залежно від завдання: RTK (від англ. Real Time Kinematic – кінематика у реальному часі); PPK (від англ. Post Processing Kinematic – кінематика у постобробці). Принцип роботи показано рис. 2.4.

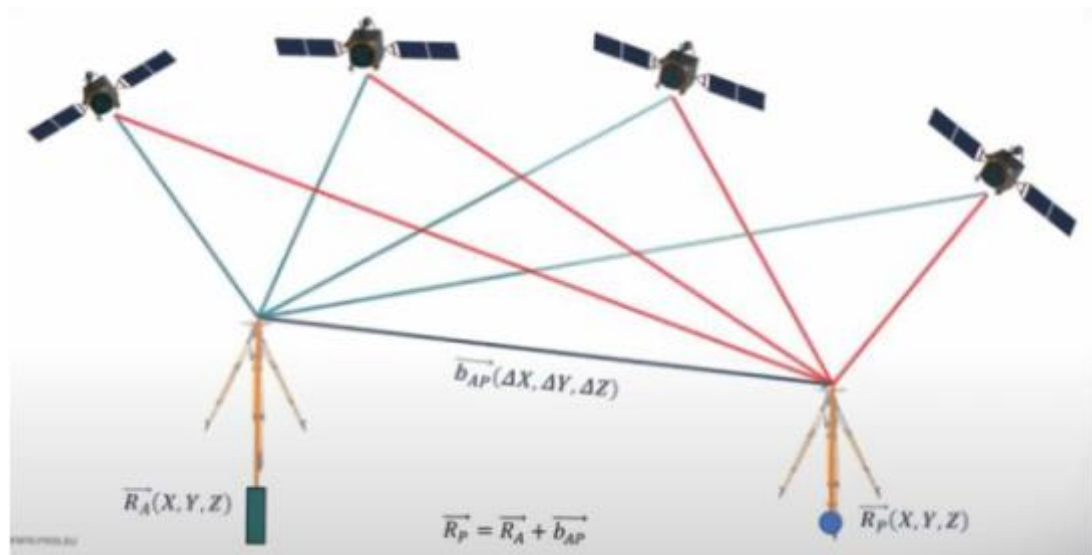


Рис. 2.4. Принцип роботи RTK/PPK

Визначення точних географічних координат об'єктів у режимі PPK.

Базова станція встановлюється у точці з відомими координатами. Ровер знаходиться на точці, що визначається. Два приймачі одночасно записують дані про місцезнаходження супутників та вимірювання з них.

Потім у результаті лабораторної обробки цих вимірювань обчислюються приростки координат від фазового центру антени основи до фазового центру антени ровера, тобто. ΔX , ΔY , ΔZ , як на рис. 2.4.

Визначення точних географічних координат об'єктів у режимі RTK. Даний режим визначення координат та висот точок із сантиметровою точністю базується на тому, що апаратура користувача приймає вимірювання в режимі реального часу під час вимірювання від базової станції. Обробка даних здійснюється у реальному часі на контролері ровера. Інформація від базової станції до ровера може передаватися через модем по технології CSD, радіо чи мобільному інтернету. В обох випадках приймачі повинні відстежувати якнайбільше однакових супутників.

Створення контрольних точок місцевості. Для перевірки ортофотоплану території чи його прив'язки застосовуються контрольні точки. Вони є контрастними точками на місцевості, які легко детектуються під час камеральної обробки знімків. В якості контрольних точок, як правило, використовують контрастні диски, закріплені на поверхні землі, або намальовані фарбою круги діаметром 10-15 см. Якщо на борту БПЛА немає високоточної ГНСС-плати та геоприв'язка моделі буде здійснюватися за розпізнавальними знаками, контрольні точки рекомендується розміщувати рівномірно на досліджуваній місцевості на відстані 200- 250 м один від одного другого.

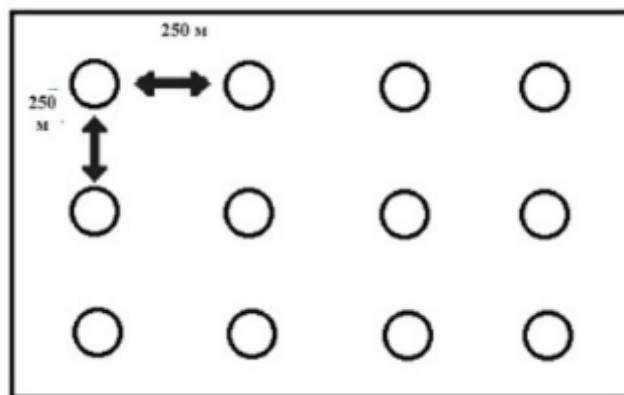


Рис. 2.5. Схема розміщення контрольних точок на місцевості

Визначення точних координат контрольних точок відбувається за

допомогою супутникового обладнання в режимі RTK (Real Time Kinematic). Для здійснення цих робіт один із GNSS-приймачів (базовий нерухомий) необхідно розмістити на відкритому просторі в точці з відомими координатами поряд із місцем, де плануються польотні роботи з БПЛА. Як правило, це пункти державної геодезичної мережі (ДГМ) (рис. 2. 6).



Рис. 2.6. Базова станція на пункті ДГМ

Базова станція в режимі реального часу каналом CSD передає дані на другий GNSS-приймач, контролер якого обчислює координати контрольних точок у потрібній системі координат (рис. 2. 7).



Рис. 2.7. Визначення точних координат контрольних точок

Створення польотного завдання. При створенні польотного завдання БПЛА слід врахувати безліч параметрів, які безпосередньо впливають на кінцевий результат (наприклад, перекриття аерофотознімків, висота польоту, налаштування камери під час польоту та і т.д.). Від цих параметрів залежить точність і роздільна здатність майбутнього ортофотоплану та цифрової моделі місцевості.

Для створення польотного завдання для безпілотних літальних апаратів

існує безліч програм та сервісів. У таблиці 2.2 наведено порівняльний аналіз програмних сервісів, які найчастіше використовують.

Таблиця 2.2. Порівняльний аналіз ПЗ для складання польотних завдань

Назва програмного забезпечення	Коректування експозиції в польоті	Можливість задання кута нахилу камери	Тривалість місії з останньої точки
Drone Deploy	—	+	+
Pix4d	—	+	—
TeoFly	+	+	+
MapPilot	—	+	+

У цій роботі для складання польотного завдання використовувався сервіс TeoFly (рис. 2.8). Цей сервіс є найбільш гнучким з налаштувань польоту, а також він відрізняється найстабільнішою роботою.

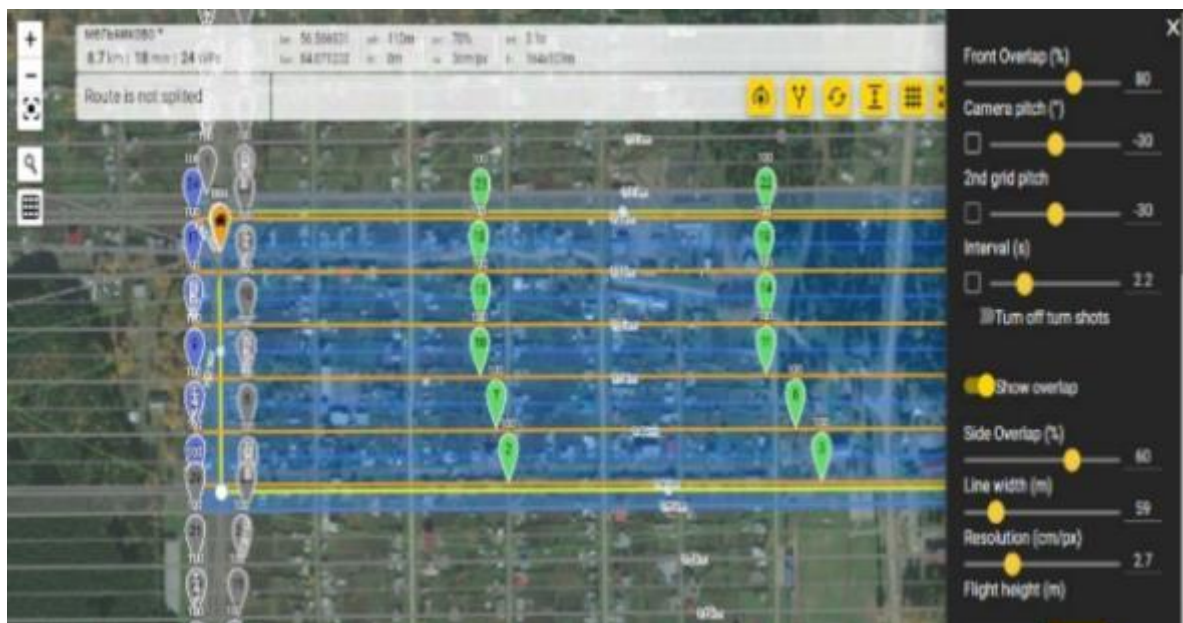


Рис. 2.8. Вікно параметрів польотного завдання в ПЗ TeoFly

Основні параметри польотного завдання, використані в кваліфікаційній роботі наведені у таблиці 2. 3.

Таблиця 2.3. Параметри польотного завдання

Параметри	Показник
Перекриття аерофотознімків	80/60
Висота польоту, м	100
Швидкість польоту, м/с	10
Площа покриття, га	60

Попереднє налаштування БПЛА. Під час кваліфікаційної роботи використовувався БПЛА DJI Phantom 4 Pro V2.0, технічні характеристики якого приведені в пункті 2.3. даної пояснювальної записки.

Безпілотний літальний апарат додатково оснащений високоточною GNSS -платою AGNSS L1/L2 (рис. 2.9).

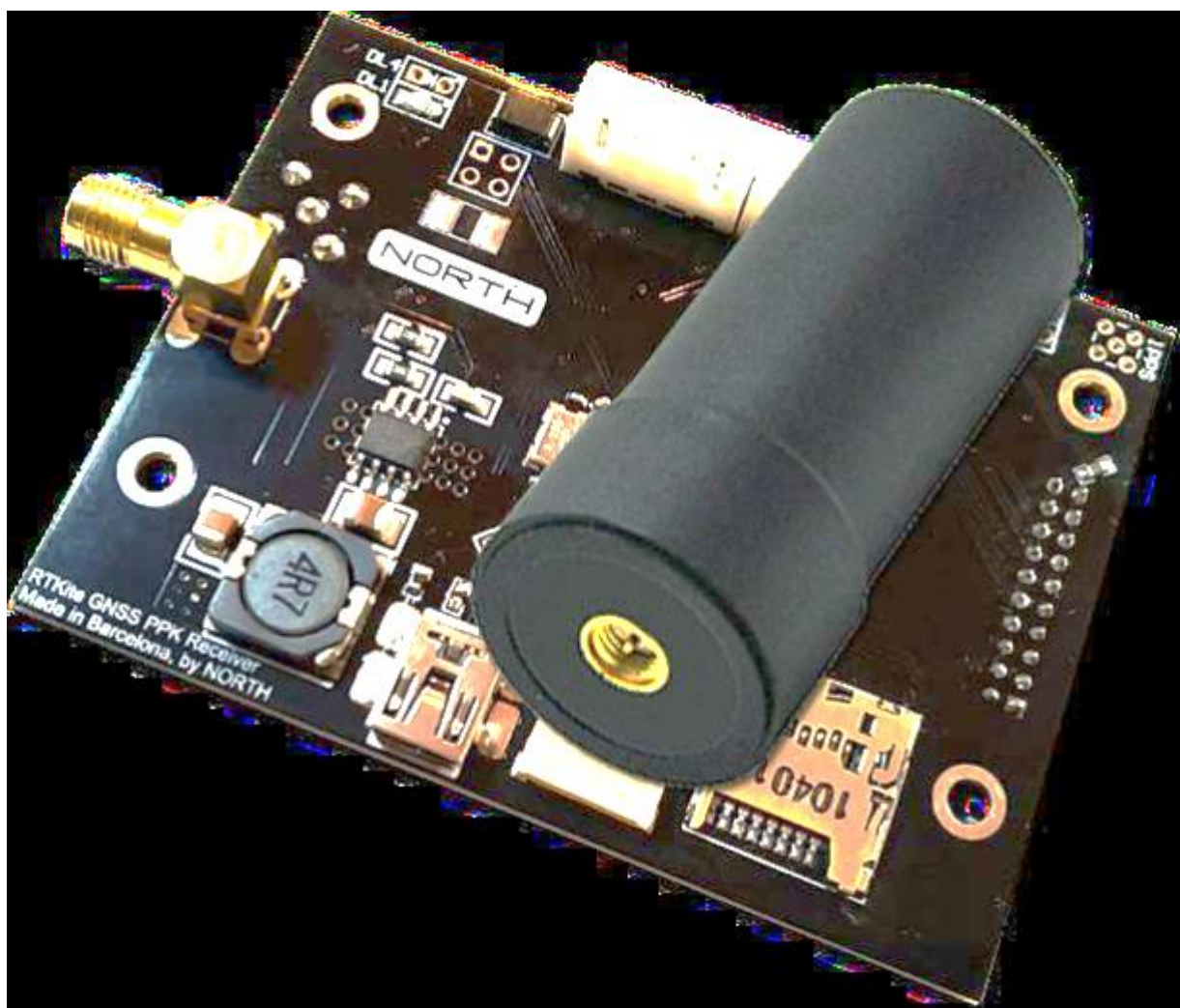


Рис. 2.9. GNSS- плата AGNSS L1/L2

Дана плата забезпечує навігацію квадрокоптера та здійснює запис

даних із супутників у режимі кінематики. Вона дозволяє обчислити точні координати центрів фотографування методом РРК (Post Processing Kinematic). Її відмінною рисою від конкурентів (наприклад, від Emlid Reach M+) є наявність плати синхронізації. Основні характеристики плати синхронізації представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Основні технічні характеристики GNSS-плати AGNSS L1/L2

Параметри	Показник
Відстань до бази	до 60 км
Час ініціалізації	до 30 с
Несучі частоти	L1 (1575,42 МГц), L2 (1227,6 МГц)
Частота запису супутникових даних	5 Гц, 10 Гц

Плата синхронізації створює тимчасову мітку події під час спрацювання механічного затвору телевізійної камери в середині експозиції. Тим самим у постобробці даних супутникових спостережень можна отримати високоточні координати центрів фотографування.

В якості обладнання для координування контрольних точок на місцевості використовувався комплект супутникового геодезичного обладнання від компанії Leica. Як базова станція використовувався приймач *Leica System 1200 – GNSS* (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Leica GX1230 - польові геодезичні приймачі

Точність вимірювань для диференціальних фазових вимірювання з пост-обробкою представлені нижче (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5. Точність вимірювань для диференціальних фазових вимірювання з пост-обробкою

Статика		Кінематика	
В плані	По висоті	В плані	По висоті
1. Базові лінії нормальної довжини з використанням GX1230/GX1220/GRX1200 Series з AX1202 чи GTX1230 із Smart-антенною			
5 мм + 0.5 ppm	10 мм + 0.5 ppm	10 мм + 1 ppm	20 мм + 1 ppm
2. Довгі базові лінії з використанням GX1230/GX1220/GRX1200 Series з AT504 чи GTX1230 із Smart-антенною			
3 мм + 0.5 ppm	6 мм + 1 ppm	—	—
3. Короткі базові лінії з використанням GX1210 з AX1201			
10 мм + 1 ppm	20 мм + 2 ppm	20 мм + 2 ppm	20 мм + 2 ppm

Точність диференціальні фазові вимірювання в реальному часі GX1230/GX1220/GRX1200 Series з AX1202 чи GTX1230 із Smart- антеною представлена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. Точність диференціальних фазових вимірювань

Статика		Кінематика	
В плані	По висоті	В плані	По висоті
5 мм + 0.5 ppm	10 мм + 0.5 ppm	10 мм + 1 ppm	20 мм + 1 ppm

Перед початком польових робіт необхідно перевірити загальний стан безпілотного літального апарату: відсутність дефектів на корпусі БПЛА, справність двигунів, міцність пропадаптерів, роботу підвісу камери, значення показань компасів та інерційної системи.

В якості польотної програму використовується ПЗ Litchi. Його головна відмінна риса полягає в тому, що під час польоту є можливість змінювати параметри камери та відстежувати всі показники датчиків БПЛА: швидкість, висота польоту, кількість відстежуваних супутників, онлайн-трансляція з камери БПЛА, положення БПЛА на маршруті.

Польотні роботи. Перед злітанням БПЛА, базова станція, яка встановлена на пункті державної геодезичної мережі, переключається в режим статичного спостереження за супутниками із частотою від 10 до 1/5 с.

В якості точки зльоту БПЛА вибирається відкрита територія далеко від високих будівель та дерев. Коли квадрокоптер набирає достатню кількість супутників і визначає своє місце розташування, проводиться зліт. Далі здійснюється набір робочої висоти. На робочій висоті, перш ніж відправити БПЛА на маршрут, виконується налаштування фокусу камери. Камера опускається в надир, здійснюється її фокусування на місцевість, після чого фокус камери блокується та залишається незмінним впродовж усього маршруту (рис. 2. 11).



Рис. 2.11. Фокусування камери на робочій висоті

Після того як набрана робоча висота та виконано фокусування камери, БПЛА вирушає на першу стартову точку. Паралельно виконується налаштування експозиції камери (рис. 2.12).



Рис. 2. 12. Налаштування параметрів експозиції телевізійної камери БПЛА

У таблиці 2.1 кваліфікаційної роботи наведено основні налаштування телевізійної камери, застосовувані для аерофотознімальних робіт на БПЛА.

Рекомендується використовувати експозицію від 1/500 до 1/1600 с.

При

експозиції 1/2000 і менше перестає працювати механічний затвор камери, а мітка події фотографування створюється неправильно, тому в процесі польоту необхідно постійно відстежувати цей параметр і за необхідності змінювати значення діафрагми. Після завершення виконання польотного завдання та приземлення, вимикається живлення БПЛА, а потім живлення базового приймача.

Польовий контроль отриманого матеріалу. На останньому етапі проведення польових робіт проводиться перевірка коректності отриманих матеріалів, зокрема перевіряється карта пам'яті БПЛА щодо наявності аерофотознімків і візуально оцінюється їх якість.

Також проводиться перевірка даних супутникових вимірів щодо сигнал/шум (ОСШ). Для цього з GNSS-приймача БПЛА та з базової станції архівуються RINEX-файли польовим комп'ютером. Оптимальні значення ОСШ для успішної обробки даних повинні знаходитися в межах від 35 до 50 дБ.

РОЗДІЛ 3

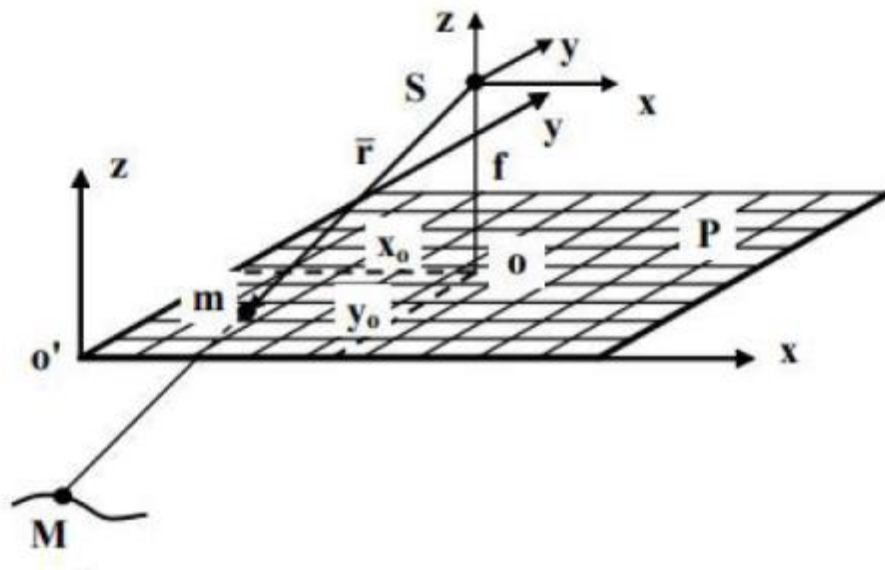
КАМЕРАЛЬНЕ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ АЕРОФОТОЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА

3. 1. Технологія камерального опрацювання аерофотознімальних робіт за допомогою БПЛА

Результатами авіаційних робіт, як правило, є аерофотознімки, дані спостереження за супутниками з борту БПЛА та з базової станції, розташованої на точці з відомими координатами, а також точні координати опорних точок на місцевості, що використовуються для прив'язки майбутнього ортофотоплану місцевості або для перевірки точності готового ортофотоплану.

Далі подано основні етапи обробки результатів авіаційних робіт.

1. Вирівнювання аерофотознімків. На цьому етапі визначаються положення аерофотознімків у системі координат об'єкта або географічній системі координат за елементами внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімків.

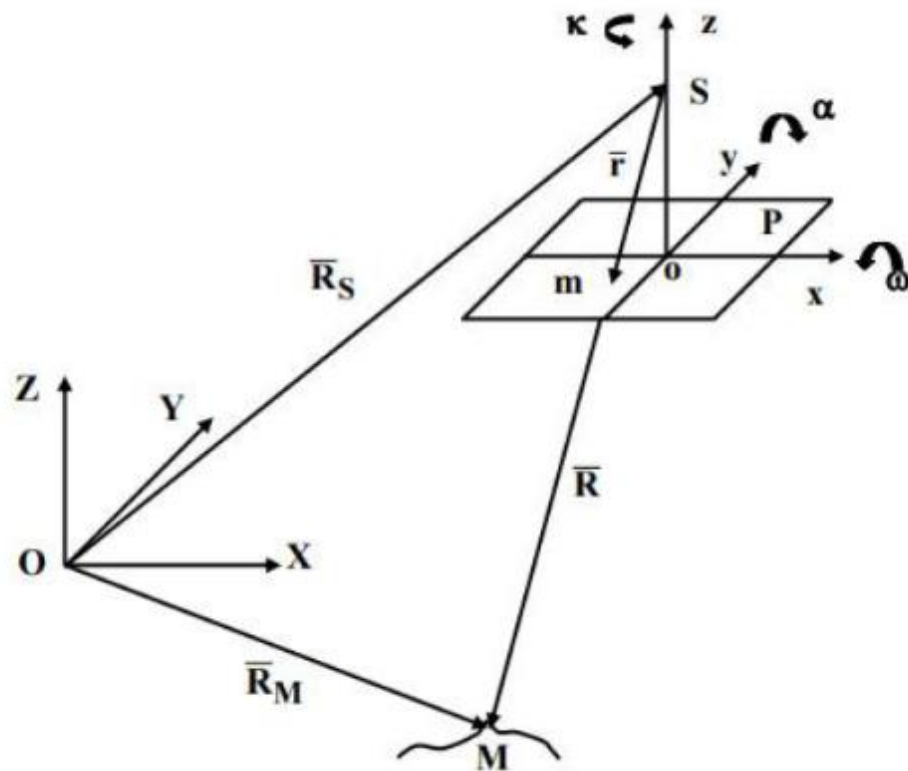


f – фокусна відстань знімка; x_0 та y_0 – координати головної точки знімка O.

Рис. 3.1. Елементи внутрішнього орієнтування знімка

Точка **S** є початком системи координат знімка. На кадровому знімку вимірювання координат точок виконується у системі координат матриці цифрової фотокамери **o'xyz**. За елементами внутрішнього орієнтування визначається положення центру проєкції **S** у системі координат знімка **o'xyz**. Через цю точку проходять усі проєктуючі промені.

За допомогою шести елементів зовнішнього орієнтування визначають положення знімку у просторі (рис. 3.2).



X_s, Y_s, Z_s – координати центру проєкції **S** в системі координат об'єкта **OXYZ**;
 ω, α, κ – кути повороту системи координат знімка **oxyz** відносно системи координат об'єкта **OXYZ**

Рис. 3.2. Елементи зовнішнього орієнтування знімків

Координати точок об'єкта та їх зображень на знімку пов'язані векторним рівнянням, яке називається рівнянням колінеарності:

$$\bar{R} = \bar{R}_s + \bar{R} \quad (3.1)$$

Або в координатному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_s + (Z - Z_s) \frac{X'}{Y'} \\ Y &= Y_s + (Z - Z_s) \frac{Y'}{Y'} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

де X, Y, Z – координати точки M в системі координат об'єкта;

X_s, Y_s, Z_s – координати центру проєкції S в системі координат об'єкта;

X', Y', Z' – координати вектора $\mathbf{r}$ в системі координат об'єкта, які визначаються за формулою:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

де A – матриця перетворення координат (матриця направляючих косинусів), елементи c_{ij} якої визначаються за значеннями кутових елементів зовнішнього орієнтування знімка ω, α, κ .

З урахуванням вищесказаного рівняння колінеарності має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_s + (Z - Z_s) \frac{c_{11}(x - x_0) + c_{12}(y - y_0) - c_{13}f}{c_{31}(x - x_0) + c_{32}(y - y_0) - c_{33}f} \\ Y &= Y_s + (Z - Z_s) \frac{c_{21}(x - x_0) + c_{22}(y - y_0) - c_{23}f}{c_{31}(x - x_0) + c_{32}(y - y_0) - c_{33}f} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Координати точок об'єкта визначаються виразом (3.4), якщо відомі елементи зовнішнього орієнтування та висоти точок.

В даній кваліфікаційній роботі елементи зовнішнього орієнтування знімків були відомі. Вони були отримані на етапі авіаційних робіт, оскільки на БПЛА встановлений геодезичний супутниковий приймач та інерційна система. У в результаті оптимізації вирівнювання аерофотознімків отримані дані використовують при побудові мережі фототріангуляції методом незалежних зв'язків.

В результаті процесу вирівнювання виходить розріджена хмара точок

і дані про положення та орієнтацію аерофотознімків. Ці дані використовуються на подальших стадіях побудови ортофотоплану місцевості.

2. Побудова щільної хмари точок. Щільна хмара точок є точками з відомими координатами X, Y, Z у системі координат об'єкта та яскравості, взяті з вихідних зображень. Класичним методом побудови є метод напівглобального ототожнення Semi-global matching (SGM). На рис. 3.3 наведено схему побудови щільної хмари точок та проілюстровано роботу цього алгоритму.

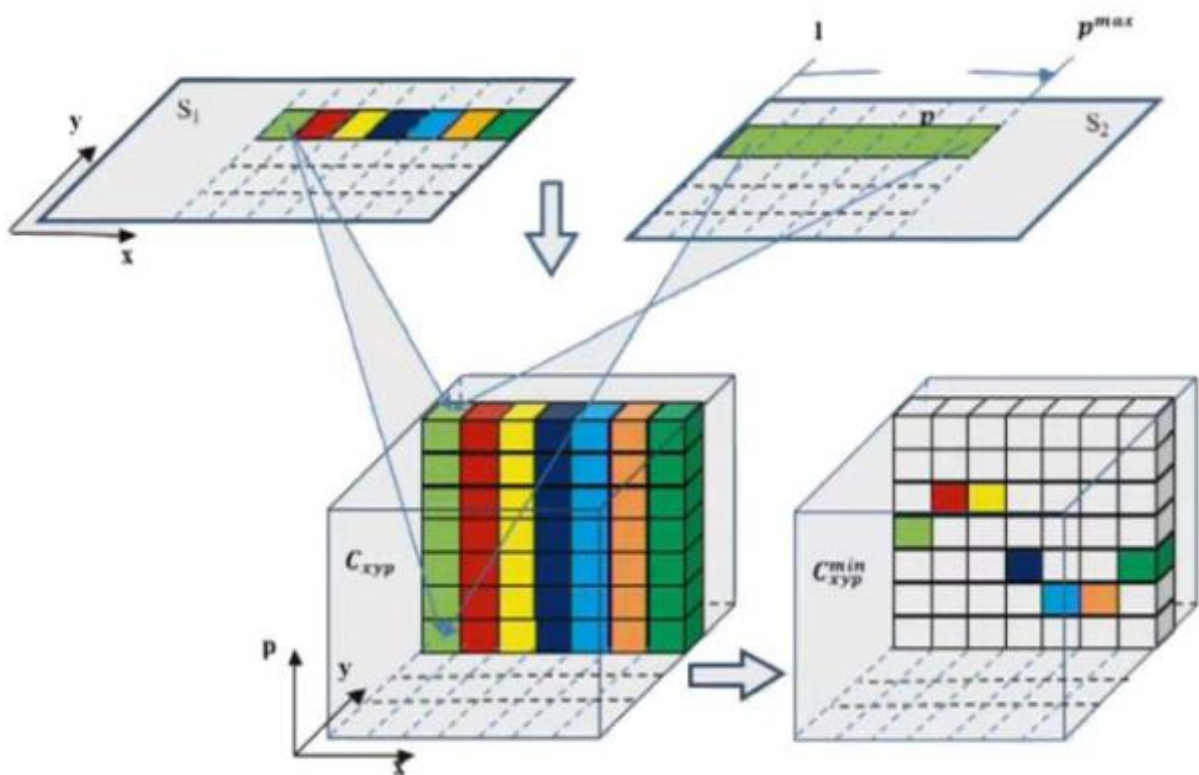


Рис. 3.3. Схема побудови щільної хмари точок

Алгоритм базується на обробці окремих стереопар, які наперед трансформуються вздовж базових ліній. В результаті кожен піксель на лівому знімку знаходиться на відповідній лінії правого знімку. Завдання полягає в знаходженні відповідних один одному пікселів на лівому та правому знімках. Пікселі порівнюються, і далі записується відповідна різниця, яка називається вагою ототожнення. Вона виражена у різниці яскравості відповідних пікселів на лівому та правому зображеннях:

$$C_{xy} = D_{xy}^1 - D_{xy}^2 \quad (3.5)$$

Дані записуються у просторово-воксельній структурі. Операція проводиться над усіма пікселями, таким чином виходить загальна структура цін ототожнення. Ці ваги аналізуються щодо виявлення мінімальних значень. Таким чином, для кожного пікселя знаходиться відповідний позовжній паралакс. Вирішуючи пряму фотограмметричну засічку, знаходять X, Y, Z у системі координат об'єкта.

2. Побудова карти висот. Карта висот будується на основі щільної хмари точок і представляє собою регулярну сітку значень висот та координат. За допомогою карти висот можливе визначення координат точок та їх висоти, а також відстаней, площ, об'ємів та побудова контурних ліній.

3. Побудова ортофотоплану. Ортофотоплан місцевості отримується шляхом ортотрансформування аерофотознімків із центральної проекції в ортогональну (картографічну). Вихідними матеріалами при цифровому ортотрансформуванні знімків служать: вихідні цифрові аерофотознімки, цифрова модель місцевості (мапа висот), елементи внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімків. Основні процеси ортотрансформування представлені рис. 3.4.

Спочатку задається початкова матриця трансформованого зображення. Знаючи координати пікселів на вихідних зображеннях, їх параметри зовнішнього орієнтування та висотну позначку з карти висот цих пікселів, згідно з виразом (3.4), попіксельно заповнюють матрицю трансформованого зображення.

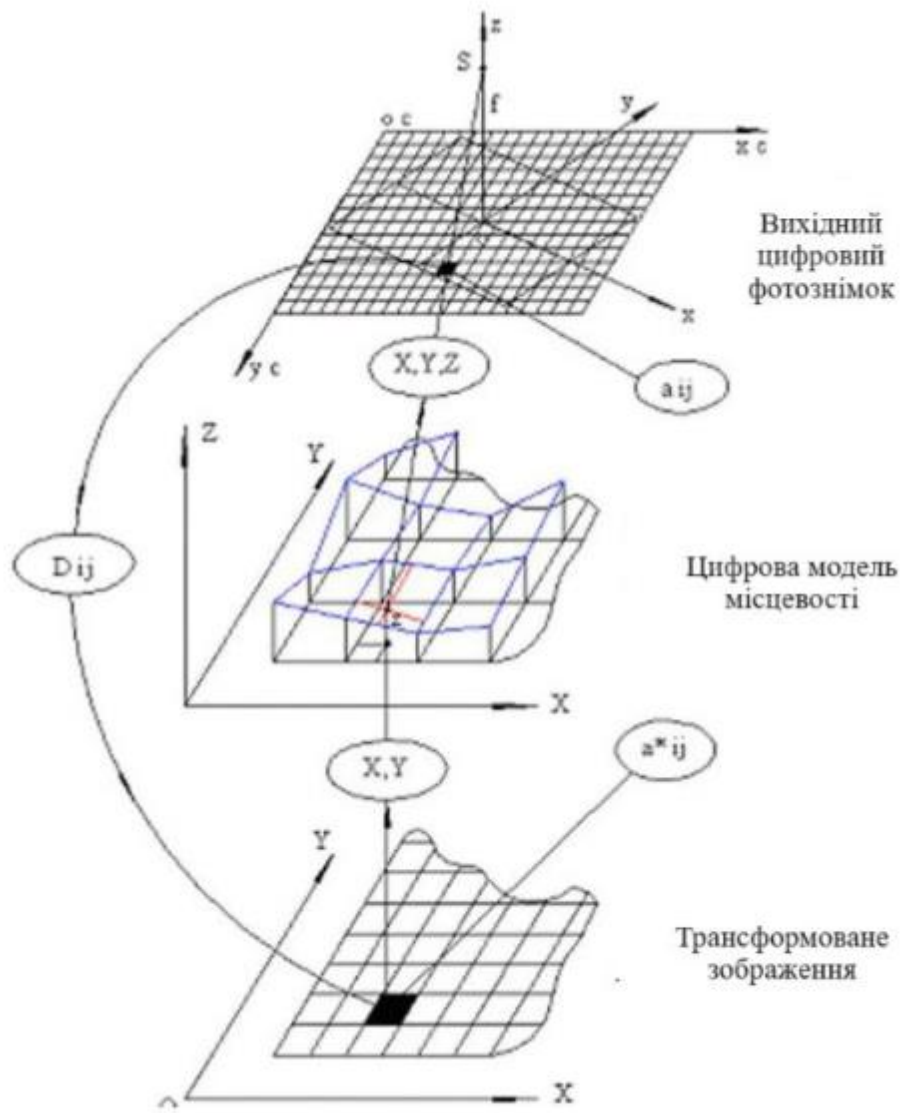


Рис. 3.4. Основні процеси ортотрансформування зображення

Аерофотознімки використовуються для побудови геоприв'язаних ортофотопланів місцевості. Існують два основні підходи географічної прив'язки аерофотознімків. Це пряма і обернена фотограмметрична засічки.

Сучасне програмне забезпечення для фотограмметричної обробки зображень або результатів супутникових спостережень успішно справляється з цим завданням, коли вихідні дані не схильні до сильних спотворень.

4. Попередня обробка зображень, спотворених змазаністю зображень. Якщо використовується недостатньо коротка витримка або висока швидкість польоту, внаслідок прямолінійного руху камери, встановленої на БПЛА, на зображеннях з'являється змазаність, яку можна

вважати прямолінійною й інваріативною до зсуву.

У загальному випадку спотворене зображення виглядає так:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \quad (3.6)$$

де $f(x, y)$ – функція вихідного зображення;

$h(x, y)$ – функція розсіювання точки;

$(*)$ – операція згортки;

$n(x, y)$ – функція адитивного шуму.

В інтегральному вигляді рівняння можна представити так:

$$I(x, y) = \iint_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} I(x', y') \cdot h(x - x', y - y') dx' dy' \quad (3.7)$$

де $I(x', y')$ – функція вихідного зображення;

$h(x - x', y - y')$ – функція розсіювання точки.

У просторовому відношенні це ж зображення можна виразити так:

$$G(u, v) = H(u, v) * F(u, v) + N(u, v) \quad (3.8)$$

де $H(u, v)$ – фур'є-образ вихідного зображення;

$F(u, v)$ – фур'є-образ функції розсіювання точки;

$N(u, v)$ – фур'є-образ шуму.

Щоб усунути змазаність на зображеннях, потрібно виконати оцінку функції розсіювання точки. Розрізняють три способи оцінки спотворюваної функції.

1. *Візуальний аналіз.* Для цього потрібно знайти фрагмент зображення із великою амплітудою сигналу, тобто із високим контрастом. Якщо зображення розмито, прибрати розмитість фільтрами.

2. *Оцінка на базі експерименту.* Застосовується у тому випадку, якщо є доступ до обладнання, на якому проводилася зйомка. У цьому випадку можна виміряти імпульсний відгук на точку, що світиться.

3. *Оцінка на основі моделювання.* Такий спосіб є важкореалізованим, оскільки сучасні об'єктиви складаються з безлічі лінз з різними

характеристиками заломлення променів. З урахуванням перевідбиття та впливу діафрагми такий підхід практично нереалізований.

Класичними методами відновлення зображень із використанням спотворюючої функції є: метод максимальної правдоподібності Люсі - Річардсона, параметричний фільтр Вінера, регуляризація за Тихоновим та ін.

Коли йдеться про аерофотознімки, отримані з БПЛА, функція спотворювання наперед невідома. З цієї причини краще використовувати методи сліпої деконволюції.

У цьому випадку намагаються виділити якнайбільше апіорної інформації, щоб зробити припущення про характер змазування. Також має місце ітеративне уточнення функції спотворення для максимального наближення до вихідного зображення $f(x, y)$. При змазуванні кожен піксель вихідного зображення перетворюється на лінію, форма цієї лінії і показує, за яким законом спотворюється зображення, тобто є імпульсною характеристикою двовимірного фільтру $h(x, y)$.

3.2. Методика опрацювання результатів аерофотознімання

Для проведення камеральних робіт з метою побудови геоприв'язаного ортофотоплану місцевості були отримані дані в результаті польових робіт аерофотозйомки, дані супутникових спостережень з БПЛА та базової станції, а також координати контрольних точок у заданій системі координат.

Програмно-апаратний комплекс включав програмне забезпечення для обробки супутникових вимірів *Leica*. Для фотограмметричної обробки даних використовується програмне забезпечення *Agisoft Metashape*.

Технологічна схема основних етапів реалізації обробки результатів аерофотозйомки зображено рис. 3.5.



Рис. 3.5. Технологічна схема методики опрацювання результатів аерофотозйомки

Процес обробки даних в програмі *Agisoft Metashape* максимально автоматизований, лише потрібно вибрати режим роботи.

Вихідні дані для роботи в програмному забезпеченні приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Результати аерознімання об'єкту дослідження за допомогою БПЛА

Параметри	Показник
Всього знімків	1545
Зв'язуючих точок	1 215 996
Проекцій	4 714 253
Перекриття аерофотознімків	80/60
Висота польоту, м	61,8
Швидкість польоту, м/с	10
Роздільна здатність зйомки	65см/пікс
Площа покриття, га	59

Завантаження знімків. Першим кроком є створення проекту в "Agisoft Metashape Pro" та завантаження знімків, вибір системи координат WGS-84 та завантаження координат центрів знімків. ПЗ автоматично виконує аеротріангуляцію, формує модель у вигляді розрідженої хмари точок, уточнює координати центрів фотографування та визначає елементи орієнтації знімків. Розміщення центрів фотографування та перекриття знімків приведено на рис. 3. 6.

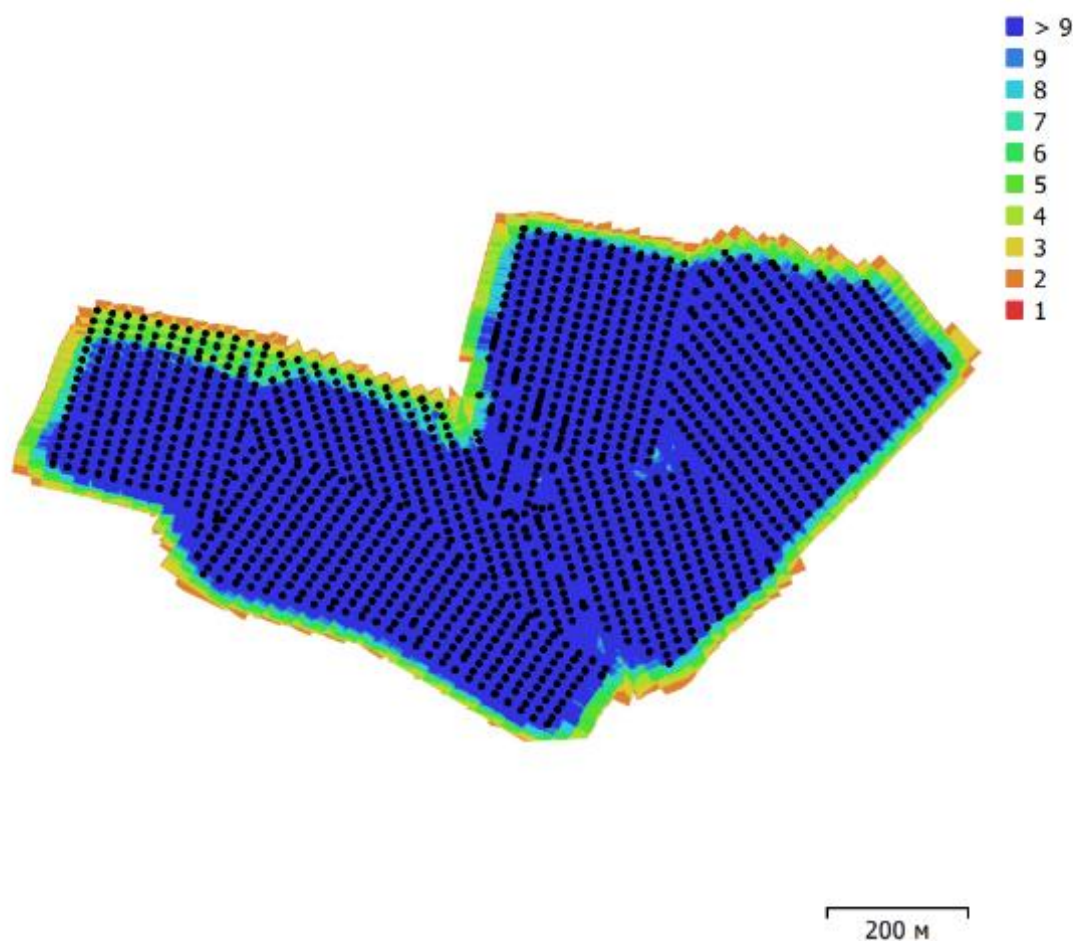


Рис. 3.6. Розміщення центрів фотографування та перекриття знімків

Таблиця 3.2. Характеристика зальотів аерофотознімання

Номер зальоту камери	Кількість знімків	Роздільна здатність	Фокусна відстань	Розмір пікселя
1	333	5472×3648	8,8 мм	2, 41×2,41мкм
2	186	5472×3648	8,8 мм	2,41×2,41мкм
3	230	5472×3648	8,8 мм	2,41×2,41мкм
4	309	5472× 3648	8,8 мм	2,41×2, 41мкм
5	212	5472×3648	8,8 мм	2,41×2,41мкм
6	275	5472×3648	8,8 мм	2,41× 2,41мкм

Вирівнювання аерофотознімків. Після завантаження аерофотознімків у Metashape, необхідно встановити положення та орієнтацію камери для кожного кадру і побудувати розріджену хмару точок. Ці операції виконуються під час вирівнювання. У процесі вирівнювання фотографій у програмі Metashape визначаються параметри внутрішнього та зовнішнього орієнтування камер.

Фотокамери повинні бути попередньо піддані процедурі фотограмметричного калібрування, в результаті якого визначаються елементи внутрішнього орієнтування фотокамери, включаючи параметри фотограмметричної дісторсії об'єктива фотокамери. Поправки d_x і d_y координат виміряних на знімку точок, що компенсують вплив фотограмметричної дісторсії об'єктива фотокамери, в загальному випадку описується різними рівняннями. Найбільш широко використовуються рівняння:

$$\begin{cases} d_x = x(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2 \\ d_y = y(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3 + \dots) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2xyp_1 \end{cases}$$

(3.9)

де x, y – координати точок знімка;

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти радіальної дисторсії;

p_1, p_2 – коефіцієнти тангенціальної дисторсії;

r – радіус- вектор розраховується за формулою:

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad (3.10)$$

В результаті вирівнювання та оптимізації центрів фотографування досліджуваної території оздоровчого центру Рекреаційний комплекс "ТАРТУС" були отримано такі значення нев'язок по кожному зальоту (табл. 3.3).

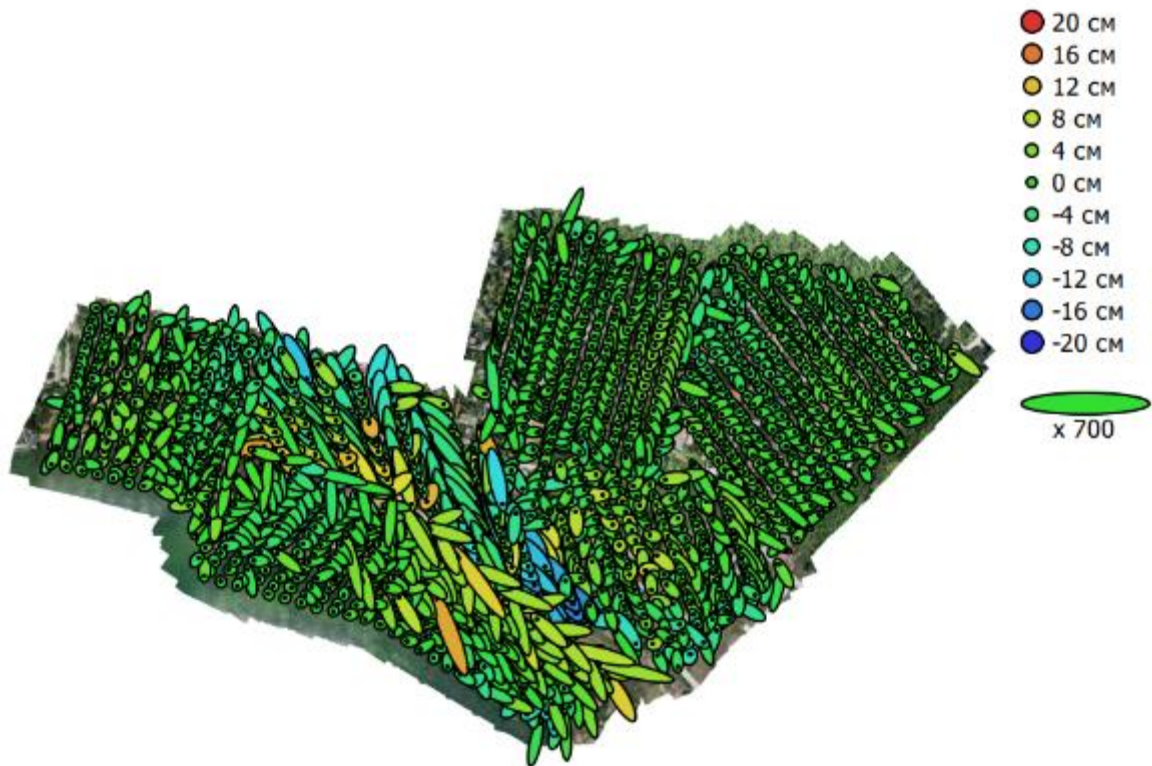
**Таблиця 3.3. Коефіцієнти калібрування та матриця кореляції
зальотів БПЛА**

	Значення	Помилка	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
1 зальот										
F	3657.99	0.21	1.00	0.01	0.16	-0.13	0.04	0.02	-0.01	-0.05
Cx	2.67791	0.018		1.00	-0.01	0.00	-0.00	0.00	0.70	-0.02
Cy	-9.44926	0.014			1.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.03	0.54
K1	-0.016133	2e-05				1.00	-0.96	0.90	-0.01	0.01
K2	0.0022693	5.7e-05					1.00	-0.98	0.01	0.00
K3	0.00616103	4.8e-05						1.00	-0.01	-0.00
P1	-0.000228529	1.4e-06							1.00	-0.02
P2	-0.000777334	1e-06								1.00
2 зальот										
F	3658.85	0.21	1.00	-0.00	0.11	-0.12	0.04	0.00	-0.01	-0.03
Cx	2.64514	0.024		1.00	-0.06	0.00	-0.00	0.00	0.70	-0.02
Cy	-9.12608	0.02			1.00	-0.01	0.00	0.00	-0.06	0.61
K1	-0.0163855	2.9e-05				1.00	-0.97	0.91	0.00	-0.00
K2	0.00334343	8.2e-05					1.00	-0.98	-0.00	0.00
K3	0.00522498	6.9e-05						1.00	0.00	-0.00
P1	-0.000230295	2e-06							1.00	-0.01
P2	-0.000753211	1.6e-06								1.00
3 зальот										
F	3662.47	0.23	1.00	0.01	0.16	-0.13	0.05	0.01	-0.01	-0.05
Cx	2.56854	0.018		1.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.71	0.02
Cy	-9.0071	0.015			1.00	-0.01	-0.00	0.01	-0.03	0.57
K1	-0.0163382	2.3e-05				1.00	-0.97	0.91	0.00	0.00
K2	0.0024822	6.3e-05					1.00	-0.98	-0.00	0.00
K3	0.00594583	5.4e-05						1.00	0.00	-0.00
P1	-0.000229569	1.5e-06							1.00	0.02
P2	-0.000763525	1.2e-06								1.00
4 зальот										
F	3655.8	0.25	1.00	0.07	0.25	-0.14	0.03	0.04	-0.01	-0.07
Cx	2.60254	0.018		1.00	0.01	-0.01	-0.00	0.01	0.73	-0.04
Cy	-9.21002	0.014			1.00	-0.02	-0.00	0.02	-0.03	0.47
K1	-0.0159763	1.9e-05				1.00	-0.97	0.90	0.00	0.01
K2	0.00177302	5.3e-05					1.00	-0.98	-0.00	0.00
K3	0.00618694	4.5e-05						1.00	0.00	-0.01
P1	-0.000213527	1.4e-06							1.00	-0.04
P2	-0.000751979	9.3e-07								1.00

	Значення	Помилка	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
5 зальот										
F	3661.74	0.25	1.00	-0.06	0.13	-0.11	0.05	-0.01	-0.01	-0.04
Cx	2.63615	0.031		1.00	0.00	0.01	-0.01	0.01	0.78	-0.02
Cy	-9.30243	0.023			1.00	-0.01	-0.00	0.01	0.01	0.63
K1	-0.0162395	3.2e-05				1.00	-0.96	0.91	0.00	0.01
K2	0.00282373	9e-05					1.00	-0.98	-0.01	-0.00
K3	0.00531385	7.6e-05						1.00	0.01	-0.00
P1	-0.000240227	2.5e-06							1.00	-0.01
P2	-0.000758459	1.9e-06								1.00
6 зальот										
F	3663.52	0.21	1.00	0.00	0.11	-0.12	0.04	0.01	-0.01	-0.03
Cx	2.67191	0.022		1.00	0.01	-0.01	0.01	-0.00	0.67	0.00
Cy	-9.76503	0.019			1.00	-0.01	-0.00	0.01	-0.01	0.58
K1	-0.016006	2.4e-05				1.00	-0.96	0.90	0.01	-0.01
K2	0.00170998	6.8e-05					1.00	-0.98	-0.01	0.01
K3	0.00650058	5.8e-05						1.00	0.01	-0.01
P1	-0.000230158	1.7e-06							1.00	0.02
P2	-0.000769735	1.4e-06								1.00

Під час геоприв'язки модель піддається лінійним перетворенням за допомогою параметрів перетворення подібності. У процесі оптимізації Metashape відбувається перерахунок координат точок та параметрів камер з метою мінімізації суми помилок проектування та вирівнювання відносно опорних координат. Точність геоприв'язки може значно збільшитися після оптимізації. Оптимізація особливо рекомендується у випадках, коли передбачається виконання будь-яких вимірів з врахуванням моделі. Після оптимізації, дані про помилки геоприв'язки оновляться.

В результаті калібрування розраховані розміщення центрів фотографування і оцінка їх помилок (таблиця 3.4 та рис. 3. 7).



Розраховані розміщення центрів фотографування – чорний колір.
Помилки в плані показані формою еліпса. Помилки по висоті – кольором еліпса.

Рис. 3.7. Розміщення центрів фотографування і оцінка їх помилок

Таблиця 3.4. Середні похибки за координатами центрів фотографування

Похибка, X (см)	Похибка, Y (см)	Похибка, Z (см)	Похибка, XY (см)	Загальна похибка, XYZ (см)
3.20832	3.19877	3.42369	3.97415	5.24552

X – Східний напрям, Y – Північний напрям, Z - Висота.

Побудова щільної хмари точок. На наступному етапі будуюмо щільну хмару точок. Для цього:

1. Вибираємо пункт "Побудувати щільну хмару..." в меню "Обробка".
2. У діалоговому вікні "Побудувати щільну хмару" вибираємо середню якість для швидшої обробки, яка відповідає вимогам.
3. Вікно відображає хід виконання операції. Після обробки, отримуємо щільну хмару точок з параметром фільтрації глибини 197,770,429 точки.

Фрагмент змодельованої щільної хмари точок зображено на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Щільна хмара точок

Щільна хмара точок являє собою подібність лазерного сканування, але отриманого шляхом фотограмметричної обробки. В якості практичного застосування у ньому можна вимірювати розміри об'ємних об'єктів.

Побудова карти висот (цифрової моделі місцевості). Metashape має можливість відображати модель поверхні у вигляді регулярної сітки значень висоти, відомої як цифрова модель місцевості (ЦММ).

ЦММ можна побудувати на основі щільної хмари точок або розрідженої хмари. За допомогою ЦММ можна виміряти координати точок, відстані, площі та об'єми, а також відобразити профілі розрізів по заданій трасі. Після побудови щільної хмари точок, можна переходити до побудови цифрової моделі місцевості та цифрової моделі рельєфу. Після виконання відповідних операцій, отримуємо ЦММ (рис. 3.9).

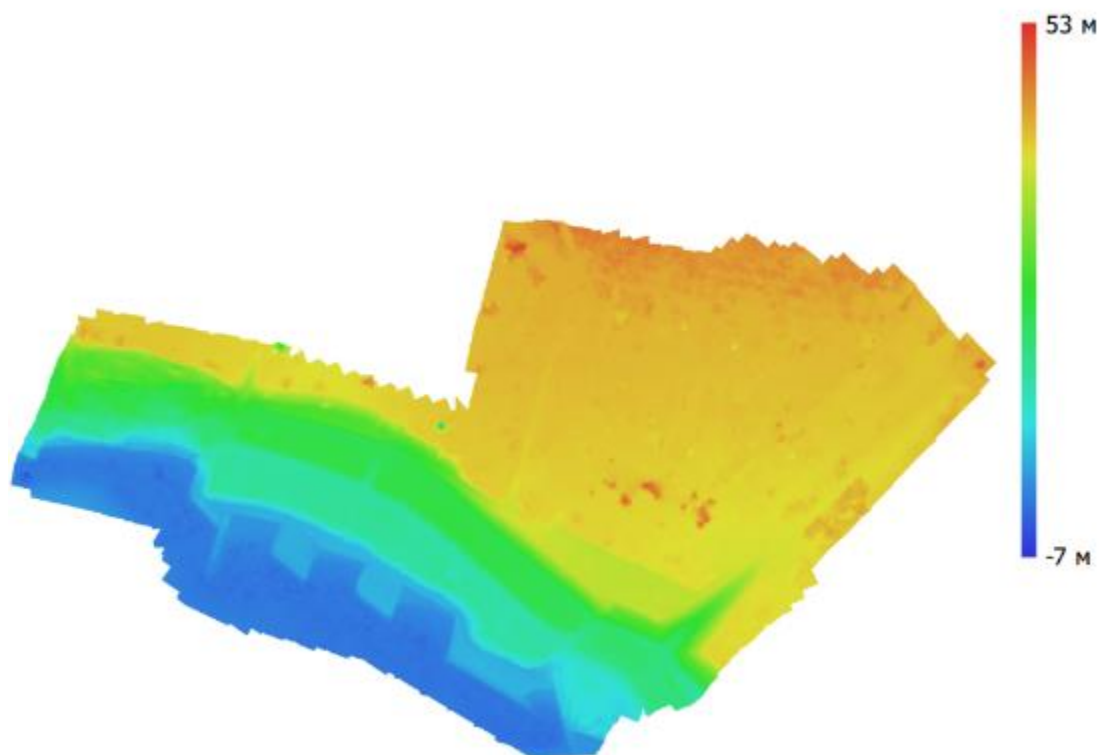


Рис. 3.9. Цифрова модель місцевості

Таблиця 3.5. Технічні характеристики ЦММ

Показник	Значення
Розмір	25,222 x 14,165
Система координат	Pulkovo 1942 / CS63 zone X3 (EPSG:: 7827)
Роздільна здатність:	6 см/пікс
Щільність точок	278 точок/м ²

У даній кваліфікаційній роботі можна визначити висоту Z будь-якого об'єкта досліджуваної місцевості із середньою точністю 3, 4 см.

Побудова ортофотоплану. Ортофотоплан будується на основі початкових знімків та реконструйованої моделі і зазвичай використовується в процесі обробки аерофотознімків для отримання високої деталізації. Ортофотоплан також може бути побудований для отримання детального зображення об'єкта. Для побудови ортофотоплану:

1. Вибираємо команду "Побудувати ортофотоплан..." в меню "Обробка".

2. У діалоговому вікні "Побудувати ортофотоплан" задаємо систему координат (за замовчуванням використовується WGS-84).

3. Решту параметрів залишаємо за замовчуванням.

4. Натискаємо кнопку ОК.

Щоб почати трансформацію зображення та дешифрування ортофотоплану, потрібно експортувати результат відповідно до вимог програми. У ПЗ "Digitals" для експорту ортофотоплану слід вибрати "Файл" -> "Експорт" -> "Експорт ортофотоплану". Після цього виберіть потрібний формат експорту з випадаючого списку. Для подальшої обробки, рекомендовано вибрати тип файлу .tif. В діалоговому вікні "Експорт ортофотоплану" вказуємо систему координат для прив'язки ортофотоплану, використовуючи опорні точки в ПЗ "Digitals".

Натисніть кнопку "Експорт", щоб розпочати процес експорту.

Ортофотоплан місцевості в даній кваліфікаційній роботі (рис. 3.10) був побудований за точними центрами фотографування.



Рис. 3.10. Ортофотоплан місцевості

Таблиця 3.6. Технічні характеристики ортофотоплану

Показник	Значення
Розмір	75,199 x 41,160
Система координат	Pulkovo 1942 / CS63 zone X3 (EPSG::7827)
Кольори	3 канали, uint8

Зведені результати опрацювання аерофотознімальних робіт в програмі *Agisoft Metashape* на території рекреаційного комплексу "ТАРТУС" приведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Параметри обробки аерофотознімальних робіт в програмі Agisoft Metashape

Параметр	Значення
<i>Основні</i>	
Камери	1545
Вирівняні камери	1545
<i>Фігури</i>	
Точка	4
Система координат	Pulkovo 1942 / CS63 zone X3 (EPSG::7827)
Кути повороту	Курс, тангаж, крен
<i>Хмара точок</i>	
Точок	1,215,996 із 1,333,417
СК помилка репродукціювання	0.183371 (0.950902 пікс)
Макс. помилка репродукціювання	0.714182 (58.55 пікс)
Середній розмір точок	3.96429 пікс
Кольори точок	3 канали, uint8
Характерні точки	немає
Середня кратність зв'язуючих точок	4.10247
<i>Параметри вирівнювання</i>	
Точність	Висока
Загальна преселекція	Так
Преселекція по прив'язці	Ні
Характерних точок на кадр	40,000
Зв'язуючих точок на кадр	4,000
Придушення нерухомих зв'язуючих точок	Так
Локальне ототожнення знімків	Ні
Адаптивне уточнення моделі камери	Ні
<i>Параметри оптимізації</i>	
Параметри	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Адаптивне уточнення моделі камери	Ні
Час оптимізації	13 секунд
Дата створення	2021:08:06 16:03:29
Версія програми	1.7.2.11892
Розмір файлу	115.32 Мбайт

Параметр	Значення
Карти глибини	
Кількість	1544
Параметри побудови карт глибини	
Якість	Середня
Фільтрація карт глибини	Агресивна
Час обробки	22 год 20 хвилин
Використання пам'яті	3,26 Гбайт
Дата створення	2021:08:07 15:03:55
Версія програми	1.7.2.11892
Розмір файлу	2.40 Гбайт
Щільна хмара точок	
Точок	197,770,429
Кольори точок	3 канала, uint8
Параметри побудови карт глибини	
Якість	Середня
Фільтрація карт глибини	Агресивна
Час обробки	22 години 20 хвилин
Використання пам'яті	3.26 Гбайт
Параметри побудови щільної хмари	
Час обробки	44 хвилини 16 секунд
Використання пам'яті	7.02 Гбайт
Дата створення	2021:08:07 15:48:12
Версія програми	1.7.2.11892
Розмір файлу	2.52 Гбайт
ЦММ	
Розмір	25,222 x 14,165
Система координат	Pulkovo 1942 / CS63 zone X3 (EPSG::7827)
Параметри реконструкції	
Вихідні дані	Щільна хмара
Інтерполяція	Увімкнена
Час обробки	3 хвилини 46 секунд
Використання пам'яті	263.68 Мбайт
Дата створення	2021:08:16 15:00:44
Версія програми	1.7.2.11892
Розмір файлу	703.20 Мбайт
Ортофотоплан	
Розмір	75,199 x 41,160
Система координат	Pulkovo 1942 / CS63 zone X3 (EPSG::7827)
Кольори	3 канала, uint8

Параметр	Значення
<i>Параметри реконструкції</i>	
Режим змішування	Мозаїка
Поверхня	ЦММ
Увімкнути заповнення отворів	Так
Увімкнути фільтрацію шумів	Ні
Час обробки	34 хвилини 57 секунд
Використання пам'яті	4.71 Гбайт
Дата створення	2021:08:16 15:24:50
Версія програми	1.7.2.11892
Розмір файлу	32.69 Гбайт
<i>Система</i>	
Назва програми	Agisoft Metashape Professional
Версія програми	1 8.5 build 15407
ОС	Windows 64 bit
ОЗУ	31.92 Гбайт
ЦП	AMD Ryzen 7 5800X 8-Core Processor

ВИСНОВКИ

Сьогодні цифрові ортофотоплани місцевості є основою для створення топографічних планів, кадастрових карт, базисів інженерних вишукувань, карт місцевості. Ортофотоплани особливо затребувані при геодезичних, топографічних, геологічних, гідрологічних, екологічних дослідницьких роботах, землеустрої, архітектурно-будівельному проєктуванні, контролі будівельно-монтажних робіт, сільському господарстві, лісовпорядкуванні, моніторингу прибережних зон і звичайно ж в освоєнні нових земель і будівництві, так як за рахунок оперативності виконання (не більше місяця, а при сприятливих умовах і до 1-2 тижнів) є можливість отримати ортофотоплан потрібної території практично в режимі реального часу, що дозволить заощадити як час, так і фінансові інвестиції. Актуальність даного питання і послужила вибором тематики кваліфікаційної роботи.

В результаті виконання даної кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано основні діючі нормативно правові документи, що регламентують порядок та точність побудови ортофотопланів місцевості за результатами виконання аерофотознімань місцевості з використанням безпілотних літальних апаратів.

2. Встановлено, що сьогодні не лише в Україні, а й в інших країнах законодавче регулювання діяльності, пов'язаної із застосуванням БПЛА знаходиться на етапі удосконалення. Їх післявоєнна роль у відновленні та становленні України буде дуже різноманітною. Оцінка збитків та документування, аерофотознімання небезпечних територій, розмінування, охорона державного кордону тощо. Тому, розробка відповідного правового забезпечення з огляду на поточний його стислий виклад та нерегульованість численних питань є необхідною.

3. Досліджено історію виникнення безпілотних літальних апаратів, досвід їх застосування в геодезичному виробництві, програмне забезпечення і методику опрацювання знімків за допомогою БПЛА.

4. В процесі вивчення методики проведення аерофотознімань територій за допомогою квадрокоптерів в комплексі з супутниковими вимірами встановлено, що робота БПЛА в отриманні аерофотознімків для ортофотопланів, полягає в суцільному покритті території, де поздовжнє і поперечне перекриття становить не менше 60%, фіксації координат кожного знімка. Для якісної та точного виконання аерофотозйомки треба дотримуватись певних правил. Для коректності даних майбутнього ортофотоплану необхідно отримання точних координат – це можливо або за наземними опорними точками, які розкладені заздалегідь, або шляхом корекції даних бортової системи з наземною станцією GNSS RTK.

5. Методика проведення польових авіаційних робіт за допомогою БПЛА в комплексі з GNSS-приймачами дозволяє створювати ортофотоплани та цифрові моделі місцевості, що відповідають масштабу 1:500. Помилка у визначенні прямокутних координат об'єктів на ортофотоплані та цифровій моделі місцевості становить менше 10см. Можна стверджувати, що запропонована методика проведення авіаційних робіт з допомогою БПЛА відповідає вимогам та стандартам топографічних планів масштабу 1:500 і може бути застосовна на практиці при побудові топографічних планів об'єктів місцевості.

6. В процесі практичної частини виконання кваліфікаційної роботи було виконано 6 польотних завдань (зальотів) на висоті 61,8 м над досліджуваною територією і проведена аерофотозйомка оздоровчого центру Рекреаційний комплекс "ТАРТУС" на території с. Ліски Фонтанської сільської територіальної громади Одеського району Одеської області. Всього виконано 1545 знімків, 1 215 996 зв'язуючих точок з роздільною здатністю зйомки 65см/пікс. Площа покриття становить 59 га. В результаті отримано ортофотоплан місцевості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурштинська Х.В., Станкевич С.А. Аерокосмічні знімальні системи: підручник. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013. 316 с.
2. Галецький В., Глотов В., Колесніченко В., Прохорчук О., Церклевич А. Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА. Геодезія, картографія та аерофотознімання: зб. наук. праць. Львів: НУ «Львів. політех.», 2012. № 76. С. 85 – 93.
3. Глотов В., Голубінка Ю., Ільків Т. Технологічні особливості наземного цифрового знімання гідротехнічних споруд. *Електронні текстові дані*. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1734/gka71200938.pdf>.
4. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»: Постанова Кабінету Міністрів України від 07.08.2013р. №646. Дата оновлення: 22.05.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF> Text.
5. Інженерна геодезія. Основи інженерної геодезії: підручник / Войтенко С.П., Шульц Р.В., Самойленко О.М., Адаменко О.В., Александровський І.Р., Малащук О.С., Юрковський Р.Г., Мовчан Т.В., Булишева Д.В. // за ред. Войтенка С.П. Одеса: Прес-кур'єр, 2021. 632 с.
6. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): Наказ Кабінету Міністрів України від 23.06.1998 р. № 393/2833. Київ: Головне управління геодезії, картографії та кадастру України, 1999. 156 с.
7. Інформаційно-довідковий ресурс «GeoGuide». URL: <http://www.geoguide.com.ua/>
8. Кобилін О.А., Творошенко І.С. Методи цифрової обробки зображень: навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2021. 124 с.
9. Колб І. Методика створення засобами геоінформатики картографічного шару контурів будівель за матеріалами великомасштабного аерознімання місцевості з БПЛА. *Сучасні досягнення геодезичної науки та*

виробництва : зб. наук. пр. Західне геодезичне т-во Українського т-ва геодезії і картографії, Нац. ун-т "Львівська політехніка". Львів, 2018. Вип. II (36). С. 92-96.

10. Крохмаль Є.М., Левицький І.Ю., Благодіра Л.О. П'ятимовний словник основних термінів і визначень в геодезії, фотограмметрії та картографії. Навчальний посібник. Харків: Харк. держ. агрн. ун-т ім. В.В. Докучаєва, 1995. 146 с.
11. Куліковська О.Є., Атаманенко Ю.Ю., Копайгора О.К. Результати калібрування цифрової камери БПЛА за аерознімками тестового полігона. *Інженерна геодезія: наук.-техн. зб.* Київ: КНУБА, 2018. Вип. 65. С. 218-227.
12. Островський А.Л., О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський. Геодезія. Частина II. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2008. 562 с.
13. Пілічева М.О. Методи використання даних аерокосмічного знімання в задачах землеустрою: дис....канд. техн. наук; 05.24.04 / Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова Харків. 2016. 153 с.
14. Повітряний Кодекс України № 3393-VI від 19.05.2011. Дата оновлення: 21.10.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17> Text.
15. Положення про використання повітряного простору України: Постанова Кабінету міністрів України від 06.12.2017р. №954. Дата оновлення: 05.01.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/954-2017-%D0%BF> Text.
16. Правила виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України: Наказ Міністерства оборони України від 08.12.2016р. №661. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17> Text.
17. Про затвердження Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України»: Наказом Державної авіаційної служби України та Міністерства оборони України від 11.05.2018р. №430/210. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18> Text.

18. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 02.12.2016р. №509. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16> Text.
19. Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування: Постанова Кабінету Міністрів України від 04.09.2013р. № 661. Дата оновлення: 14.06.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF> Text.
20. Про Порядок використання апаратури супутникових радіонавігаційних систем під час проведення топографо-геодезичних, картографічних, аерофотознімальних, проектних, дослідницьких робіт і вишукувань та кадастрових зйомок: Постанова Кабінету Міністрів України від 13.07.1998р. №1075. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1075-98>.
21. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23.12.1998р. №353-XIV. Дата оновлення: 08.06.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14> Text.
22. Станкевич С.А., Васько А.В. Застосування сучасних технологій аерокосмічного знімання в аграрній сфері. *Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій*: матеріали наук.-практ. конфер. 2011. С. 44–50.
23. Творошенко І. С. Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. 75 с.
24. Черняга П.Г. Бялик І.М., Янчук Р.М. Супутникова геодезія. Навч. посібник, 2-ге вид. Рівне: НУВГП, 2014. 222 с.
25. Шумаков Ф.Т. Супутникова геодезія. Конспект лекцій. Харків: ХНАМГ., 2009. 88 с.
26. Leica Geosystems: офіційний сайт. *Електронні текстові дані*. URL: <http://www.leica-geosystems.com/en>, вільний (дата звернення: 06.01.2023).