

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувача випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.І. Великодський

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)  
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 193 «ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ»

**Тема:** «Оцінка точності цифрових картографічних матеріалів, створених за результатами аерознімання з безпілотних літальних апаратів»

Виконавець: студент групи ГС-209 М

Голубенко Станіслав Віталійович \_\_\_\_\_

Керівник:

к. ф.-м. н., доцент Беленок Вадим Юрійович \_\_\_\_\_

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»:

к. ф.-м. н., доцент Гай Анжела Євгенівна \_\_\_\_\_

Консультант розділу «Охорона праці»:

асистент Якимець Ірина В'ячеславівна \_\_\_\_\_

Нормоконтролер: к.е.н., доцент Стецюк Михайло Петрович \_\_\_\_\_

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра аерокосмічної геодезії та землеустрою

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувача випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.І. Великодський

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

**Голубенку Станіславу Віталійовичу**

1. Тема дипломної роботи: «Оцінка точності цифрових картографічних матеріалів, створених за результатами аерознімання з безпілотних літальних апаратів», затверджена наказом ректора від 11 жовтня 2021 р. № 2208 /ст.
2. Термін виконання роботи: з 11.10.2021 р. по 31.12.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: картографічні матеріали, знімки з БПЛА, матеріали курсового проекту, координати розпізнавальних знаків, координати пунктів міської геодезичної мережі.
4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд літературних джерел з тематики дипломної роботи. Аерофотопографічна зйомка. Технології використання БПЛА у цілях аерофотознімання. Етапи виконання аерознімальних робіт. Охорона навколишнього середовища. Охорона праці.

5. Перелік обов'язкового ілюстрованого матеріалу: 5 таблиць, 35 рисунків.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Підбір, аналіз та обробка літератури. Формування бібліографії	11.10.2021- 24.10.2021	
2	Складання календарного плану дипломної роботи та узгодження змісту з керівником	25.10.2021- 27.10.2021	
3	Розробка, формування та представлення на перевірку першого та другого розділів	28.10.2021- 30.10.2021	
4	Накопичення та систематизація практичних матеріалів	01.11.2021- 12.11.2021	
5	Розробка та представлення розділів	13.11.2021- 25.11.2021	
6	Попередній захист дипломної роботи	26.11.2021- 26.11.2021	
7	Доопрацювання у відповідності з зауваженнями	27.11.2021- 03.11.2021	
8	Підготовка презентації	04.12.2021- 09.12.2021	
9	Нормоконтроль, рецензування	10.12.2021 18.12.2021	
10	Захист магістерської роботи	24.12.2021	

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього о середовища	Гай Анжела Євгенівна		
Охорона праці	Якимець Ірина В'ячеславівна		

Дата видачі завдання:

«11» жовтня 2021 року

Керівник дипломної роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Беленок Вадим Юрійович

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_

(підпис)

Голубенко Станіслав Віталійович

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему: «Оцінка точності цифрових картографічних матеріалів, створених за результатами аерознімання з безпілотних літальних апаратів» має: загальний обсяг 115 сторінки, 5 таблиць, 35 рисунків, 36 використаних джерел.

**Мета роботи:** є оцінка точності ортофотоплану, який був створений за результатами аерознімання з БПЛА та порівняння його з геодезичним зніманням, у результаті якого буде створений топографічний план місцевості в масштабі 1:500. Визначення недоліків при застосуванні БПЛА для топографічного знімання в процесі його реальної апробації.

**Об'єктом дослідження** в даній роботі є аерофотознімання та БПЛА.

**Предметом дослідження** даної роботи є ортофотоплани, які були створені у результаті аерофотознімання з БПЛА.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач у дипломній роботі використовувались загальнонаукові і спеціальні методи наукових досліджень, зокрема: статистичний і порівняльний аналіз. У дослідженні було використано законодавчі та нормативні акти Верховної Ради України, щодо інструкції з топографічного знімання, офіційні матеріали КП «Київський інститут земельних відносин»; монографії та науково-аналітичні статті вітчизняних та зарубіжних авторів, інформаційні матеріали, опубліковані в періодичних виданнях.

**Практичне застосування результатів магістерської роботи.** Запропонована технологічна схема пройшла виробничу апробацію і в результаті отримані топографічні плани масштабу 1:500 острову Муромець.

Апріорна та апостеріорна оцінки точності є одного порядку. Це свідчить про можливість використання методу для складання вищезгаданих планів.

Надалі необхідно детальніше проаналізувати всі процеси схеми та виявити можливості підвищення точності та оперативності складання

дрібномасштабних планів на місцевості за наявності попередніх аерофотоматеріалів.

БПЛА, АЕРОФОТОЗНІМАННЯ, ОРТОФОТОПЛАН, ЦИФРОВІ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА, СХЕМА АЕРОЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ, ТРАНСФОРМУВАННЯ ЗНІМКІВ.

## ВСТУП

**Актуальність теми** полягає в тому, що пілотовані літаки обходяться набагато дорожче як у плані обслуговування так і у плані виробництва. БПЛА не потребують систем захисту та життєзабезпечення пілотів, яка займає набагато більше часу ніж навчання операторів безпілотників. БПЛА потребують набагато менший обсяг палива завдяки своїй масі, при цьому не виключається можливість використання альтернативних видів палива.

Щодня людство знаходить БПЛА нові застосування, роблячи тим самим її певні апгрейди літаючих помічників. БПЛА пророкують долю мобільних телефонів, тобто в найближчому майбутньому вони можуть стати незамінним атрибутом нашого життя. Це пояснюється, насамперед, порівняно з невеликою їх вартістю, простотою керування, малими витратами на експлуатацію та утримання тощо.

Перевагою використання БПЛА є суттєво менші витрати коштів, оперативність та актуальність отриманих даних.

**Метою даної роботи** є оцінка точності ортофотоплану, який був створений за результатами аерознімання з БПЛА та порівняння його з геодезичним зніманням, у результаті якого буде створений топографічний план місцевості в масштабі 1:500. Визначення недоліків при застосуванні БПЛА для топографічного знімання в процесі його реальної апробації.

**Завдання дипломної роботи** є оцінка точності та якості створеного ортофотоплану, цифрової моделі рельєфу. Аналіз БПЛА, які підходять для вирішення задач картографії. Зробити комбінованим методом топографічний план у масштабі 1:500.

**Об'єкт дослідження** в даній роботі є аерофотознімання та БПЛА.

**Предмет дослідження** даної роботи є ортофотоплани, які були створені у результаті аерофотознімання з БПЛА.

**Методи дослідження:** Для вирішення поставлених задач у дипломній роботі використовувались загальнонаукові і спеціальні методи наукових досліджень, зокрема: статистичний і порівняльний аналіз. У дослідженні було використано законодавчі та нормативні акти Верховної Ради України, щодо інструкції з топографічного знімання, офіційні матеріали КП «Київський інститут земельних відносин»; монографії та науково-аналітичні статті вітчизняних та зарубіжних авторів, інформаційні матеріали, опубліковані в періодичних виданнях.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Новизна отриманих результатів полягає в тому, щоб вияви необхідність використання БПЛА у топографічних цілях та переконатися у його точності, також зробити топографічний план комбінованим методом.

**Практичне значення отриманих результатів** даної роботи полягає у тому, що результати, висновки та пропозиції наведені у даній магістерській дипломній роботі мають важливе значення у вдосконаленні та розробленні в технологічної схеми і практичних рекомендацій по проведенню технологічної схеми виконання аерознімальних робіт.

## ЗМІСТ

### ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА У РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ</b>	
<b>АЕРОЗНІМАННЯ.....</b>	<b>13</b>
1.1. Основні поняття про аерофотознімання.....	13
1.1. Аерофототопографічна зйомка з використанням безпілотних літальних апаратів.....	15
1.2. Основні поняття безпілотних літальних апаратів.....	17
1.2.1. Огляд квадрокоптера DJI Mavic 2 pro.....	19
1.2.2. Класифікація та характеристики безпілотних літальних апаратів..	23
1.2.3. Передумови застосування БПЛА для аерознімання.....	32
1.2.4. Правовий статус використання БПЛА.....	33
1.3. Загальні вимоги та відомості для створення та оновлення топографічних карт і планів.....	36
1.4. Точність геодезичних робіт при їх виконанні за допомогою БПЛА.....	42
1.5. Порівняння зйомки з безпілотних літальних апаратів із традиційними методами в економічному відношенні.....	43
1.6. Висновки до розділу.....	44
<b>РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВИХ</b>	
<b>КАРТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ.....</b>	<b>45</b>
2.1. Цифровий фотограметричний знімок.....	45
2.2. Загальні відомості про ортофотоплани.....	46
2.3. Поняття про цифрові моделі об'єкта (ЦМО, ЦММ, ЦМР).....	49
2.4. Джерела, що впливають на точність фотограмметричної обробки	

знімків.....	50
2.4.1. Джерела помилок фотограмметричних вимірів.....	50
2.4.2. Джерела, що спотворюють центральну проекцію на реальному знімку.....	54
2.4.3. Дисторсія об'єктива фотокамери.....	57
2.4.4. Зміщення точок на знімку, спричинені його нахилом.....	59
2.4.5. Зсув зображення у площині прикладної рамки фотокамери.....	61
2.5. Поняття трансформування знімків.....	62
2.5.1. Принцип цифрового ортофототрансформування знімків.....	65
2.6. Основні формули ідеального випадку зйомки.....	68
2.7. Висновки до розділу.....	70

### **РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИКОНАННЯ АЕРОЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ ТА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИКОНАНИХ РОБІТ..... 71**

3.1. Польові роботи аерофотозйомки з використанням БПЛА.....	71
3.2. Планово-висотне обґрунтування аерофотозйомки.....	72
3.3. Планування АФС робіт.....	74
3.4. Короткі відомості про програму «Agisoft Metashape Pro».....	77
3.5. Методика виконання камеральних фотограмметричних робіт у ПЗ «Agisoft Metashape Pro».....	78
3.6. Трансформація ортофотоплану в ПЗ «Autodesk AutoCAD» та створення топографічного плану.....	85
3.7. Висновки до розділу.....	89

### **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА..... 90**

4.1. Методика застосування БПЛА в екологічному моніторингу територій... 90	90
4.1.1. Особливості використання БПЛА в екологічному моніторингу.. 92	92
4.1.2. Обстеження лісових насаджень та полів за допомогою БПЛА.... 93	93

4.1.3. Використання БПЛА у моніторингу акваторій України.....	96
4.2. Висновки до розділу.....	97
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>98</b>
5.1. Вимоги до організації робочого місця користувача персонального комп'ютера (ПК). Опис основних шкідливих факторів.....	98
5.1.1. Забезпечення необхідного мікроклімату у приміщеннях з ПК... ..	99
5.1.2. Освітлення приміщень і робочих місць ПК.....	100
5.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів.....	103
5.3. Пожежна безпека.....	105
5.4. Інструкція з охорони праці для оператора ПК.....	107
5.5. Висновки до розділу.....	109
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>110</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>112</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

- АФЗ – аерофотозйомка;
- БАК – безпілотний авіаційний комплекс;
- БАС – безпілотна авіаційна система;
- БАТ – безпілотні авіаційні технології;
- БВС – безпілотне повітряне судно;
- БЛА – безпілотний літальний апарат;
- БПЛА – безпілотний літальний апарат;
- БПС – безпілотного повітряного судна;
- ГІС – геоінформаційна система;
- ДЗЗ – дистанційне зондування Землі;
- ДПЛА – дистанційно-пілотований літальний апарат;
- ЛА – літальний апарат;
- НПС – навколишнє природне середовище;
- ПВО – планово-висотне обґрунтування;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ЦММ – цифрова модель місцевості;
- ЦМО – цифрова модель об'єкта;
- ЦМП – цифрова модель поверхні;
- ЦМР – цифрова модель рельєфу;
- РТК – Real Time Kinematic.

# РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА У РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ АЕРОЗНІМАННЯ

## 1.1. Основні поняття про аерофотознімання

Аерофотозйомка (АФЗ) – це процес отримання аерофотознімків території з висоти від сотень метрів до десятків кілометрів за допомогою спеціального обладнання (аерофотоапарата, цифрового фотоапарата) встановленого на літальному апараті (супутнику, літаку, гелікоптері, безпілотному літальному апараті та ін.) Поняття аероф з появою можливості людини підніматися в повітря. Поштовхом у її історії, для широкого використання у геодезії та картографії, стала Перша світова війна. В даний час, з появою безпілотних літальних апаратів, людство може всебічно і глибше вивчити об'єкт зйомки та вирішити багато завдань у геодезії[1].

АФЗ – один із основних методів для створення топографічних карт та планів. Стереотопографічний метод є головним для зйомки у масштабах 1:10000 та 1:25000. Для більших масштабів, за умови заповнення території суцільною високою рослинністю (масштаб 1:5000 та 1:2000 з перетином рельєфу через 1 м та 0,5 м), використовується комбінований спосіб [2, 3, 4]. Цей спосіб також підходить і для щільної багатоповерхової забудови (масштаб 1:1000 - 1:500).

До складу аерофотознімальних робіт входить:

- розвиток високоточних геодезичних мереж;
- запуск безпілотних літальних апаратів (БПЛА);
- фотограмметричне оброблення даних;
- дешифрування аерокосмічних матеріалів;
- створення топографічного плану місцевості.

Одним із способів застосування фотографії це над земне та космічне фотографування, тобто отримання знімків земної поверхні за допомогою БПЛА – літаків, вертольотів, штучних супутників Землі та ін.

Різниця від традиційної аерофотозйомки цифрова аерофотозйомка здійснюється наступними методами: використовують камери з ПЗС лінійками, де обов'язково є дві системи GPS + INS, тобто Глобальна система позиціонування та Інерційна система, для обчислення положення зображення ПЗС-лінійки в ізометричному просторі в кожний момент часу польоту. Ця система також часто використовується при космічних зйомках. Бортовий комп'ютер та програмне забезпечення дозволяють переводити та передавати обробку даних за допомогою GPS-приймача та даних INS – інерційної системи та об'єднати перенести зображення по них у повні знімки та відповідну роздільну здатність.

Варіант літакової зміни у висоті платформи, на якій встановлено камеру, важко передбачити. І у зв'язку з цим розроблено другий технічний підхід – матричний сенсор. Літно-знімальні роботи, що здійснюються на основі матричного сенсора, в якийсь момент нагадують звичайний аналоговий метод аерофотозйомки, коли всі елементи без винятку матриць синхронно експонуються. Цей метод використовує в собі піксельну геометрію, яка відома своєю строгістю визначення, ніж лінійні технології, в яких розмір пікселя змінюються в залежності від поздовжньої швидкості носіїв. В даний час проблема матричної технології в тому, що великі матричні решітки дуже складні у виробництві та транспортуванні. І у зв'язку з цим поєднують: роблять більше за площею з декількох маленьких за площею, а також метод транспортування. Наприклад, чотири. Чотири лінзові об'єктиви створюють чотири окремі зображення, які не схожі один з одним, а так само які трансформують в центральну проекцію посередині і автоматично стикують їх. Ці знімки проходять обробку за існуючими програмами подібними до програм обробки.

Результатом цифрової аерофотозйомки є цифрові аерофотознімки, і їх зафіксовані в польоті елементи за якими здійснюються зовнішні орієнтири

(лінійні -  $X_s, Y_s, Z_s$  - елементи центрального фотографування; кутові -  $\alpha, \beta, \gamma$  - положення камери щодо осі координат).

Дотримуючись правил центрального проектування, згідно з якими будується зображення поверхні місцевості, аеро-знімок поверхні містить безліч спотворень, результати яких обчислюються кутом нахилу оптичної осі аеро-фотоапарата і коливанням рельєфу поверхні місцевості. Видаленням подібних спотворень виконується під час їх фотограмметричної обробки, особливо під час трансформування. В результаті чого використання аеро-знімків без їх початкового трансформування для картографічного забезпечення робіт, що здійснюються, за одне як основа ГІС, не може виходити за рамки впливу зазначених спотворень. Аерофотознімальні роботи виконуються спеціальними напрямками топографо-геодезичною або землевпорядною організаціями за допомогою спеціально обладнаних апаратів.

## **1.2. Аерофототопографічна зйомка з використанням безпілотних літальних апаратів**

Топографічна зйомка місцевості при інженерно-геодезичних вишукуваннях виконується методами: горизонтальним, висотним (вертикальним), мензульним, тахеометричним, нівелюванням поверхні, наземним фототопографічним, стереотопографічним, комбінованим з використанням геодезичної апаратури (приймач GPS та інше), а також поєднанням різних методів.

Аерофототопографічна зйомка є одним із методів складання топографічних карт та планів великого масштабу. Результатами виконання робіт є ортофотоплан, топографічні карти і плани, цифрові моделі місцевості (ЦММ) та цифрова модель рельєфу (ЦМР) які можуть бути використані для вирішення багатьох задач.

Застосування аерофотозйомки з БПЛА обумовлюється економічною доцільністю або відсутністю інших технічних і практичних можливостей отримання достовірних топографічних матеріалів.

Для зйомки використовуються спеціалізація БПЛА. Експлуатуючим організаціям при виборі аерофотознімального комплексу, що складається з БПЛА та програм обробки польотних даних, рекомендується звернути увагу на документацію про технологію отримання та обробки матеріалів, необхідних з метою забезпечення відповідності побудованих ортофотопланів та ЦММ вимогам чинних нормативно-правовим документам.

При необхідності проводиться комбінована аерофототопографічна зйомка, з використанням супутникових технологій; тахеометричним методом; наземним і повітряним лазерним скануванням; цифровою аерофотозйомкою, а також поєднанням різних методів. Використання цих методів повинні забезпечувати точність зйомки ситуації та рельєфу.

Геодезичною основою великомасштабних знімальних слугують:

- державні геодезичні мережі;
- розрядні геодезичні мережі згущення;
- знімальна геодезична мережа[7].

При аерофотозйомці з БПЛА необхідно враховувати фактор, що перешкоджають проведенню робіт:

- наявність рослинності;
- перелом місцевості (тріщина, ущелини, складно дешифрування за даними аерофотозйомки);
- неможливість дешифрувати окремі елементи зйомки (звіси криш, однотонні об'єкти АФС, забрудненість дорожнього полотна);
- сезонність (погодні умови, наявність снігового покриву);
- наявність тіней, хмар, виробничих димів та атмосферної димки, що ускладнюють або виключають процес дешифрування;

- Наявність об'єктів з високою відбиваючою здатністю (поверхня води, сніговий покрив);
- наявність та висотність забудови (висотні будівлі, телекомунікаційні вишки).

Технічне оснащення БПЛА має забезпечувати безпечне виконання польотів з урахуванням усіх особливостей території.

У комплект для проведення аерофотознімання повинен входити БПЛА з бортовим і/або наземним GNSS приймачем геодезичної точності, бортовим комплексом управління, корисне навантаження та наземна станція управління.

## **1.2. Основні поняття безпілотних літальних апаратів**

БПЛА - безпілотний літальний апарат багаторазового використання без екіпажу, що підіймається у повітря за допомогою аеродинамічних сил та виконує політ в автономному режимі за програмою або за дистанційними командами оператора, здатний нести корисне навантаження, апаратуру розвідки та моніторингу поверхні, повітряного і водного середовища і призначений для повернення на аеродром і для подальшого і для повторного використання.

Квадрокоптер - це радіокерований літаючий прилад з чотирма гвинтами, які обертаються в протилежний бік по діагоналі: одна пара пропелерів обертається за годинниковою стрілкою, а друга - проти годинникової стрілки.

Маневрування, керованість і стабільність польоту у квадрокоптера забезпечується зміною швидкості обертання пропелерів, частина роторів обертається проти годинникової стрілки, а частина - за годинниковою, кожній з них рухається окремим мотором, тому немає необхідності в хвостовому гвинті. Якщо ротор обертаються з однією швидкістю, апарат злітає, якщо один пропелер обертається швидше, то він нахилиється у бік, таким чином, регулюючи дистанційним пультом роботу пропелерів, можна керувати

коптером. На рисунку 1.2. можна побачити с чого складається квадрокоптер на прикладі моделі DJI Mavic 2 pro.

Безпілотні квадрокоптери знайшли своє застосування в багатьох сферах діяльності сучасної людини, в тому числі і в геодезії - науці про визначення форми землі, місцезнаходження на ній певних точок і так далі. На практиці геодезія – це замір земельних ділянок для будівництва всіляких об'єктів, доріг та автомагістралей, складання карт для створення проектів та планів освоєння земель і лісів, картографування ділянок під забудову.

Геодезисти завжди мали найбільший попит в області зйомки місцевості, будь то використання таких інструментів, як супутникова зйомка, електронні тахеометри, 3D-сканер, цифрові рівні, геодезичне програмне забезпечення та ГІС. Нині використання БПЛА у геодезії поступово стає повсякденною практикою. Дрони використовуються для побудови зображень, створення карт та просторового аналізу в таких областях, як:

- топографічна аерофотозйомка місцевості;
- вимірювання з метою обліку землі та будівель, ідентифікації меж землекористування;
- візуалізація LiDAR – точна візуалізація польових деталей та будівель на поверхні землі;
- створення географічних інформаційних систем та контроль містобудівної діяльності;
- моніторинг сільськогосподарських угідь;
- контроль за річками та водоймами для запобігання природним лихам;
- моніторинг лісових угідь для визначення їх нецільового використання;
- ведення кадастрового обліку та виявлення незареєстрованих самобудів.

Сьогодні на ринку існують спеціальні квадрокоптери для геодезичної зйомки, оптимізування під конкретні завдання, які підбираються з урахуванням:

- тип місцевості;
- передбачуваних погодних умов;
- розміру досліджуваної території;
- необхідного для аерозйомки часу;
- кінцевих матеріалів, які потрібно отримати.
- завдяки аерозйомке дроном можна отримати такі матеріали:
- знімки та відеозаписи;
- 3D-моделі;
- ортофотоплан;
- топоплан.

В даний час ціна на геодезичні квадрокоптери різняться в межах від 40 до 400 тис. грн. Така велика різниця пояснюється якістю та характеристиками квадрокоптерів. А також різноманітних додаткових пристосувань.

Сьогодні можна без перебільшення сказати, що квадрокоптер є самим швидким і ефективним методом аерозйомки. До того ж, на відміну від зйомки з пілотованих літальних апаратів, використання дронів набагато дешевше, та й дає можливість отримувати більш якісніше зображення.

### **1.2.1. Огляд квадрокоптера DJI Mavic 2 pro**

Конструктивно DJI Mavic 2 Pro (рис.1.1) - класичний мультикоптер з чотирма гвинтами, розташованими на несучій конструкції. Силова установка - чотири безколекторних електродвигуна, розташовані у гвинтів.



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд БПЛА DJI Mavic 2 pro

Камера використовується сенсор розміром  $1 / 2,3$  "і дозволом 12,4 Мп з 20-мм об'єктивом (в 35-мм еквіваленті), світлосила якого становить  $f / 2,8$ . Камера здатна знімати 4К-відео ( $4096 \times 2160$ ) з частотою до 30 кадрів в секунду і бітрейтом 60 Мбіт / с. Кут охоплення камери - 94 градусів. Доступний діапазон світлочутливості: ISO 100-3200, можна вручну задавати як ISO, так і параметри експозиції. Зокрема, один з двох керуючих дисків на пульті відповідає за експокоррекцію. Є невеликі зміни в програмному плані: додався режим сповільненої зйомки з роздільною здатністю 720p (120 кадрів в секунду), з'явився цифровий зум (при зйомці в 4К він може бути навіть корисний, знижуючи дозвіл лише до Full HD). Також злегка поліпшена передача кольору, а картинка суб'єктивно виглядає трохи більш різкою [8]. Технічні характеристики приведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технічні характеристики DJI Mavic 2 PRO

<b>БПЛА</b>	
Тип	Квадрокоптер (4 гвинта)
Силова установка	Чотири безколекторних двигуна
Максимальна вертикальна швидкість	Набору висоти: 6 м / с; зниження: 4 м / с
Максимальна горизонтальна	20 м / с

швидкість	
Максимальна висота польоту	6000 м над рівнем моря, 500 метрів з точки зльоту
Час роботи на одній зарядці	Близько 28 хвилин
Тип управління	Wi-Fi (802.11g / n), радіоканал, пульт управління в комплекті
Підтримка операційних систем	Android, iOS
Навігація	GPS, ГЛОНАСС
Габарити	289,5 x 289,5 x 196 мм
Маса	1380г
Камера	
Сенсор	1 / 2,3 ", 12,4 Мп
Максимальний розмір зображення	4000 x 3000
Формат фото	JPEG, RAW
Запис відео	4096 × 2160, 24 / 25р
Діапазон світлочутливості	ISO 100-3200
Об'єктив	<i>f</i> / 2,8, фокусна відстань 20 мм (в 35-мм еквіваленті), поле зору 94°
Зберігання інформації	microSD / SDHC / SDXC макс. ємності 256 Гбайт, швидкість клас 10 або вище

Зробимо огляд безпілотної авіаційної системи (БАС), використовуючи геодезичний квадрокоптер на прикладі моделі DJI Mavic 2 Pro. Дана модель є однією з найпопулярніших і надійних у наш час.

Mavic 2 Pro оснащений камерою з трьох осевим стабілізатором з 1-дюймовою матрицею CMOS, що дозволяє знімати відео у форматі 4K і фото з роздільною здатністю 20 Мп і підтримує фільтр.

Пульт дистанційного керування забезпечує максимальну відстань передачі сигналу 8 км, а також передачу відео з дрону до DJI GO 4 на

мобільному пристрої з роздільною здатністю до 1080р. Пульт дистанційного керування працює на частоті 2,4 Гц та 5,8 Гц і може автоматично вибирати найкращий канал передачі без затримки сигналу. Дроном і камерою можна легко керувати за допомогою вбудованих кнопок. Максимальний час роботи: 2 години 15 хвилин. Максимальна швидкість польоту Mavic 2 Pro складає 72 км/год, а максимальний час польоту – 28 хвилин.

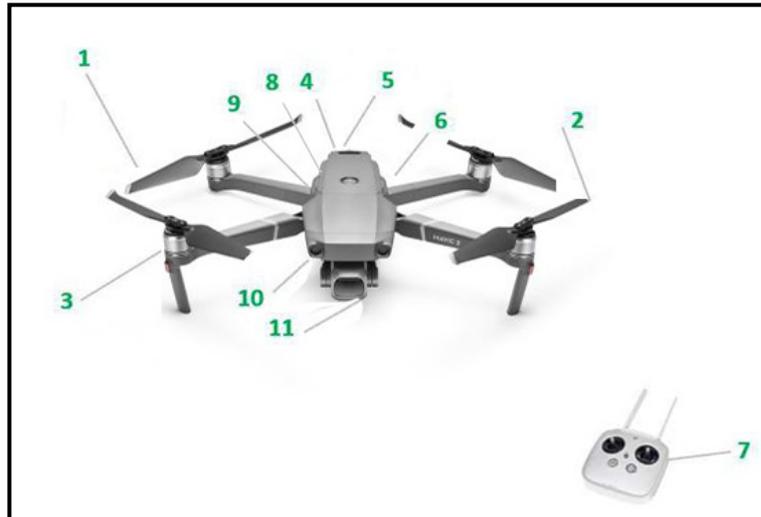


Рис. 1.2. Квадрокоптер DJI Mavic 2 pro

- 1) стандартні пропелери;
- 2) штовхаючі пропелери;
- 3) безколекторні двигуни;
- 4) посадкове шасі;
- 5) електронний регулятор швидкості;
- 6) політний контролер;
- 7) приймач;
- 8) передавач;
- 9) модуль супутникової навігації;
- 10) батарея;
- 11) камера.

## 1.2.2. Класифікація та характеристики безпілотних літальних апаратів

БПЛА бувають літакового та вертолітного типів. Кожен із цих типів виконує своє коло завдань. БПЛА літакового типу застосовуються переважно створення ортофотопланів території, цифрових моделей місцевості, моніторингу протяжних об'єктів. БПЛА вертолітного типу застосовуються в основному для перспективної зйомки, моніторингу невеликих територій або обстеження складних конструкцій, рельєфу місцевості та лазерного сканування місцевості.

БПЛА всіх типів можна розділити на класи за:

- дальністю польоту;
- радіусу дії;
- злітній масі;
- вантажопідйомності;
- призначення тощо [5].

Нині немає єдиної загальноприйнятої класифікації БПЛА. У цій випускній кваліфікаційній роботі систематизація БПЛА представлена за характеристиками:

- злітна маса;
- радіус дії.

Літакового типу БПЛА бувають:

1) Мікро- та міні-БПЛА ближнього радіусу дії;

2) Легкі БПЛА:

- малого радіусу дії;
- середнього радіусу дії.

3) Середні БПЛА та середньоважкі;

4) Тяжкі БПЛА:

- середнього радіусу дії;

- великого радіусу дії.

Мікро- та міні-БПЛА – це клас мініатюрних апаратів із злітною масою до 5 кг (корисне навантаження до 1 кг) та дальністю дії 25-40 км. Вони з'явилися відносно недавно і набули поширення у зв'язку з прогресом в електроніці та здешевленням малогабаритних електронних пристроїв. Такі БПЛА призначені для виконання завдань на невеликих ділянках місцевості. Вони прості в експлуатації та транспортуванні, як правило, для зльоту їм вистачає двигуна, тому апарат достатньо підкинути рукою.

Легкі БПЛА малого радіусу дії мають злітну масу до 50 кг (з корисним навантаженням 1-10 кг) та дальність дії від 10 до 120 км, середнього радіусу дії – 50-100 км (з корисним навантаженням 5-30 кг) та 70-250 км. Найпоширенішим способом посадки є спуск на парашуті, він простий у реалізації і не вимагає спеціальних навичок оператора [6].

Середні та середньотяжкі БПЛА мають злітну масу 100-300 кг (з корисним навантаженням 20-50 кг) і 300-500 кг (з корисним навантаженням 45-150 кг), а радіус дії становить 150-1000 км і 70-300 км відповідно. Через високу злітну масу їх транспортування ускладнюється і їх перевезення іноді потрібно кілька машин. Для таких БПЛА парашутний тип посадки не доречний, тому що через велику масу ймовірність безаварійного приземлення мала, тому застосовується спосіб посадки літаковим.

Клас важких БПЛА середнього радіусу дії включає апарати злітною масою понад 500 кг (з корисним навантаженням 60-2500 кг), призначені для польотів на відстані від 70 до 300 км. Вони можуть застосовуватися для екологічних, метеорологічних та інших досліджень, які потребують тривалого перебування у повітрі. Вони можуть злітати і сідати тільки на асфальтні та ґрунтові аеродроми.

Тяжкі БПЛА великої тривалості польоту мають злітну масу понад 1500 кг (з корисним навантаженням 300-1000 кг) та дальність дії близько 1500 км.

Цей вид БПЛА з'явився нещодавно і ще мало поширений, проте є досить затребуваним за кордоном.

На окрему увагу заслуговує вертолітний тип БПЛА, інакше званий коптером.

Основною їхньою відмінністю є здатність вертикально злітати і приземлятися на практично непідготовлені майданчики без додаткового обладнання. Це значно спрощує використання та експлуатацію БПЛА, особливо у важкодоступних місцях. Ще один плюс вертолітних БПЛА полягає у можливості зниження швидкості руху майже до нуля під час польоту та переходу в режимі зависання. Це дозволяє зробити з будь-якої точки маршруту кілька знімків. Недоліком цього типу БПЛА є вібрація, яка поділяється на коливання від силової установки, несучого гвинта та трансмісії. В даний час для скасування цього недоліку застосовуються віброгасники (компенсатори).

За аналогією з літаковими БПЛА, гелікоптери також можна поділити на такі класи:

- 1) Міні БПЛА;
- 2) Легкі БПЛА;
- 3) Середні БПЛА:
  - малого радіусу дії;
  - середнього радіусу дії.
- 4) Тяжкі БПЛА:
  - середнього радіусу дії;
  - дальнього радіусу дії.

Характеристики всіх типів та класів БПЛА представлені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

## Характеристики БПЛА

Тип БПЛА	Клас БПЛА		Злітна маса, кг	Корисне навантаження, кг	Дальність дії, км	Тип двигуна
Літаковий	Мікро- та міні БПЛА		До 5	До 1	25-40	Електродвигун
	Легкі БПЛА	Малого радіусу дії	5-50	1-10	10-120	Електродвигун
		Середнього радіусу дії	50-100	5-30	70-250	Електродвигун, ДВЗ
	Середні БПЛА		100-300	20-50	150-1000	ДВЗ
	Середньоважкі БПЛА		300-500	45-150	70-300	ДВЗ
	Важкі БПЛА	Середнього радіусу дії	500-1500	60-250	70-300	ДВЗ
		Дальнього радіусу дії	Більше 1500	Більше 300	1500	ДВЗ
	Міні БПЛА		До 5	До 1	5	Електродвигун
	Легкі БПЛА		5-50	1-30	5-100	Електродвигун
	Вертолітний	Середні БПЛА	Малого радіусу дії	50-300	20-50	50-100
Середнього радіусу дії			30-500	50-150	100-400	ДВЗ
Важкі БПЛА		Середнього радіусу дії	500-1500	120-150	150-400	ДВЗ
		Дальнього радіусу дії	Більше 1500	Більше 200	400-1500	ДВЗ

В даний час склалися дві системи компоновання літакових БПЛА: класична - фюзеляж + крила + хвіст (Рис. 1.10) і "Літаюче крило" (Рис. 1.11). Конструкція "літаюче крило" використовується як правило для виготовлення БПЛА не більше 100 кг, для більш важких БПЛА застосовується класична схема.



Рис. 1.3. БПЛА, виготовлений за класичною схемою

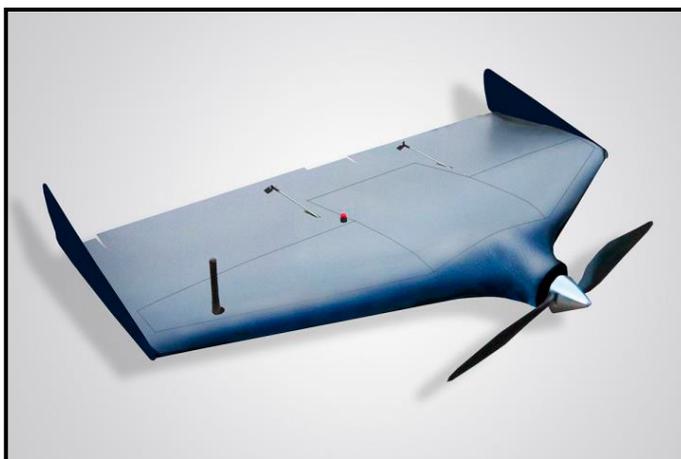


Рис. 1.4. БПЛА, виготовлений за схемою «крило, що літає»

У вертолїтних БПЛА також існує дві системи компоновання: класична - один ротор з гвинтом (Рис. 1.5.) і «квадрокоптер» - з кількома роторами (Рис. 1.6.).



Рис. 1.5. Вертолітний БПЛА класичної схеми



Рис. 1.6. Вертолітний БПЛА «Квадрокоптер»

Слід зазначити, що з перерахованих класів використовується певному територіальному рівні: регіональному і місцевому. Для кадастрових робіт різного масштабу використовується вся лінійка БПЛА, оскільки територія об'єктів державного призначення може бути як малою площею, так і великою. Для кадастрових робіт регіонального масштабу також використовують БПЛА всіх класів.

Що ж до місцевого рівня, то якщо йдеться про територію району, то в цьому випадку доцільно застосовувати БПЛА з радіусом дії не більше 300 км. Використання БПЛА з більшою дальністю польоту в масштабі району є економічно не вигідним. Для вирішення завдань муніципального освіти

використовуються переважно легкі апарати, оскільки віддаленість об'єктів від центрів базування БПЛА невеликі.

Таблиця 1.3

Просторові рівні аерокосмічної зйомки.

Рівень	Об'єкт що досліджується	Засоби зйомки
Глобальний	Континент, країна	Супутникові
Регіональний	Область, район	Супутникові та авіаційні (середні літаки)
Локальні	Невеликі території (поля, ліс, місто тощо) масштабом не більше за 1:10 000	Авіаційні (середні літаки, гелікоптери)
Точковий	Населений пункт, ділянка	Легкі літаки, мотодельтаплани, БПЛА

Основними частинами безпілотного аерофотознімального комплексу є:

- корпус;
- двигун;
- бортова система керування (автопілот);
- наземна система управління;
- корисне навантаження (аерофотознімальне обладнання).

Корпус БПЛА виготовляють із легкого пластику, щоб захистити дорогу апаратуру та засоби керування та навігації.

Двигун БПЛА може бути бензиновим та електричним. Бензиновий БПЛА застосовується в тому випадку, коли потрібна велика тривалість польоту. Електрична рухова установка використовується для нетривалих та недалеких польотів.

Бортова система керування (автопілот) – найважливіший елемент керування БПЛА. У своїй невеликій вазі, всього 20-30 г, він містить потужний процесор і безліч датчиків: гіроскоп і акселерометр, датчик швидкості, датчик

тиску, датчики висоти, піродатчик горизонту, система супутникової навігації, магнітний компас. З цими приладами БПЛА може літати за заданим курсом.

До завдань автопілота входять:

- навігація та забезпечення польоту;
- спостереження поверхні в реальному масштабі часу в процесі польоту;
- фотографування ділянок місцевості (управління фотоапаратурою);
- визначення координат досліджуваних ділянок місцевості.

Автопілот реєструє координати центрів фотографування, отримані бортовим супутниковим приймачем ГЛОНАСС/GPS, щоб програма автоматичної обробки зображень змогла прив'язати їх до місцевості. Необхідна точність визначення координат центрів фотографування залежить від технічного завдання на аерофотознімальні роботи. Це з тим, що точність визначення координат залежить від масштабу кінцевої продукції.

Наземна система керування – це планшетний комп'ютер або ноутбук, оснащений модемом для зв'язку з БПЛА. Важливою частиною НСУ є програмне забезпечення, яке служить для планування польотного завдання та відображення його виконання. Польотне завдання складається, зазвичай, автоматично по заданому контуру площадного об'єкта чи з вузловим точкам лінійного об'єкта. Також існує можливість планування польотного маршруту виходячи з необхідної висоти польоту і необхідної роздільної здатності фотографій. Під час польоту на моніторі відображається положення БПЛА та контури фотографій, що знімаються. Оператор має можливість будь-якої миті скоригувати маршрут, перенаправити БПЛА на інший район посадки, а також оперативно посадити з «червоної» кнопки.

Корисне навантаження (аерофотознімальне обладнання) – фото- або відеоапаратура, призначена для аерозйомки місцевості, представлена цифровими та дзеркальними фото- та відеокамерами, а також змінними об'єктивами, що комплектуються. Як додаток можуть використовуватися

тепловізор та ІЧ-камера. Аерофотознімальне обладнання встановлюється на БПЛА в залежності від його класу та мети використання [6].

Основним завданням БПЛА є виконання польотного завдання, отримання даних аерофотозйомки і реєстрація центрів фотографування. Цей набір даних є мінімальним для подальшої камеральної обробки.

Все обладнання, що використовується, повинно мати необхідні сертифікати і повірки, у тому числі сертифікат про льотну придатність, якщо така потрібна для експлуатації БПЛА.

Політ БПЛА рекомендується виконувати в автоматичному режимі за заздалегідь проєктованими маршрутами. Такий режим дозволяє зменшити помилки, що виникають під час пілотування БПЛА, збільшити безпеку робіт. Як додаткову інформацію необхідно робити запис даних телеметрії про відхилення БПЛА від виконання заданих параметрів. Об'єм і точність даних визначаються вимогами програмних продуктів обробки.

Існує 3 етапи робіт для проведення аерофотозйомки:

- підготовчої;
- польовий;
- камеральний.

Підготовчий етап включає:

- збір та аналіз інформації про об'єкт місцевості;
- проєктування та планування польотного завдання;
- планування встановлення розпізнавальних знаків;
- метеорологічне забезпечення;
- розрахунок параметрів польоту.

Польовий етап включає роботу по:

- створенню планово-висотної підготовки аерофотозйомки;
- забезпечення безпеки під час польоту БПЛА;
- підготовка обладнання та виконання аерофотозйомки;
- одержання результатів зйомки;

- польового дешифрування, уточнення ситуації на момент зйомки.

Польове дешифрування, що входить до складу робіт, повинно включати такі види робіт:

- зйомка підземних та надземних комунікацій;
- зйомка об'єктів, закритих для аерофотозйомки (перелом рельєфу, труб, звів криш).

Камеральний етап складається з:

- камеральної обробки геодезичних вимірювань для отримання координат та висот планово-висотного обґрунтування;
- фотограмметричної обробки даних аерофотозйомки;
- отримання топографічного плану необхідного масштабу;
- складання звіту з інженерно-геодезичних робіт.

### **1.2.3. Передумови застосування БПЛА для аерознімання**

Передумовами застосування БПЛА в якості нового фотограмметричного інструменту являються недоліки двох традиційних способів отримання даних ДЗЗ з допомогою космічних супутників (космічне знімання) і повітряних пілотованих апаратів (аерознімання).

Дані супутникового знімання дозволяють отримати знімки з максимальним загально доступним дозволом 0,6 м, що недостатньо для великомасштабного картування. Крім того, не завжди вдається підібрати безхмарні знімки з архіву. У разі знімання під замовлення втрачається оперативність отримання даних. Відносно компактних ділянок оператори і дистриб'ютори часто не проявляють гнучкої цінової політики.

Традиційне аерознімання, яке проводиться за допомогою літаків (Ту-134, Ан-2, Ан-30, Іл-18, Cessna, L-410) або вертольотів (Ми-8Т, Ка-26, AS-350) вимагає високих економічних витрат на обслуговування і заправку, що призводить до підвищення вартості кінцевої продукції.

Застосування стандартних авіаційних комплексів нерентабельне в наступних випадках:

- знімання невеликих об'єктів і малих по площі територій. В цьому випадку економічні і тимчасові витрати на організацію робіт, що доводяться на одиницю знятої площі істотно перевершують аналогічні показники при зніманні великих площ (тим більше для об'єктів, значно віддалених від аеродрому);
- при необхідності проведення регулярного знімання в цілях моніторингу протяжних об'єктів: трубопроводи, транспортні магістралі.

Отже, плюсами застосування БПЛА є:

1. Рентабельність
2. Можливість знімання з невеликих висот і поблизу об'єктів. Отримання знімків високого дозволу.
3. Оперативність отримання знімків.
4. Можливість застосування в зонах надзвичайних ситуацій без ризику для життя і здоров'я пілотів.

Варто відмітити, що технологія аерознімання з БПЛА значною мірою відпрацьована. У теперішній час велика частина існуючих і експлуатованих БПЛА призначені для повітряної розвідки і спостереження, які здійснюються за допомогою фото - і відеознімання.

#### **1.2.4. Правовий статус використання БПЛА**

Сьогодні одним із перспективних напрямів розвитку авіації є створення БПЛА. Розроблення різних типів і класів, модифікацій за останні роки проводиться фактично всіма індустріально розвиненими країнами світу. Ця техніка ефективно застосовується при виконанні завдань військового та

цивільного призначення. Таке широке розповсюдження БПЛА вимагає детального правового регулювання діяльності, пов'язаної із їх використанням.

Однак, правовий статус безпілотних літальних апаратів в Україні не визначений належним чином і потребує комплексного регулювання на законодавчому рівні. У цілому, спеціальні регулятивні документи щодо польотів БПЛА, їх сертифікації та реєстрації відсутні. Загалом, на даний момент БПЛА підпадають під регулювання таких нормативно-правових актів, як Повітряний кодекс України, Правила реєстрації цивільних повітряних суден в Україні, Положення про використання повітряного простору України.

Розглянемо і проаналізуємо позицію законодавця щодо БПЛА у зазначених нормативно правових актах.

Дефініцію безпілотного повітряного судна визначено у Повітряному кодексі України у п. 23 ст.1, як повітряного судна, призначеного 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 [9].

Частиною 8 статті 39 Повітряного кодексу України, пунктом 2.15 розділу 2 Правил реєстрації цивільних повітряних суден в Україні передбачено, що у Державному реєстрі цивільних повітряних суден України не підлягають реєстрації безпілотні повітряні судна, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кілограмів і які використовуються для розваг та спортивної діяльності [10].

Правовий статус Державного реєстру цивільних повітряних суден визначений наказом Міністерства інфраструктури України від 25.10.2012 р. № 636 «Про затвердження Авіаційних правил України» у частині 47 «Правила реєстрації цивільних повітряних суден в Україні». Тобто Державним реєстром цивільних повітряних суден України є книга та електронна база даних, в якій ведеться поточний реєстр цивільних повітряних суден, що зареєстровані в Україні, і який є компетенцією Державної авіаційної служби –

уповноваженого органу з питань цивільної авіації. Реєстрація повітряного судна у Державному реєстрі цивільних повітряних суден України визначає його національну приналежність до України та підтверджує, що компетентний орган з питань цивільної авіації здійснює контроль за льотною придатністю та експлуатацією цього повітряного судна.

Щодо Положення про використання повітряного простору України, прийнятого 06.12.2017 р. і затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 954, то у п. 31 лише зазначено, що «встановлюються обмеження щодо використання повітряного простору України з метою перехоплення повітряних суден-порушників, перехоплення або супроводження нерозпізнаних цілей, виконання авіаційних робіт з пошуку і рятування, запуску та посадки космічних об'єктів, забезпечення польотів повітряних суден, що виконують рейси літер “А”, польотів безпілотних повітряних суден» [11].

Таким чином, низку питань щодо польотів БПЛА та їх використання: безпеки, сертифікації БПЛА, відповідальності за порушення правил використання БПЛА, використання повітряного простору України, ефективного державного контролю використання БПЛА зазначеними законними та підзаконними нормативно-правовими актами не вирішено.

На сучасному етапі в Україні спостерігається значна кількість розробників, які працюють над створенням і виробництвом БПЛА, що також призводить до їх поширення і використання без дотримання відповідних правил безпеки. До лідерів виробників безпілотної авіатехніки, які системно вдосконалюють своєї продукцію, і здійснюють виробництво БПЛА для військових, промислових, цивільних та комерційних цілей, можна віднести Науково-виробниче підприємство «Атлон Авіа»; «Укрспецсистемс»; Науково-виробниче підприємство «Спайтек»; «Карболайн»; Авіаційна виробнича компанія «Скаетон»; Виробничо-інноваційна компанія «DeViRo» [12].

На сьогодні в нашій державі немає комплексного нормативно-правового акту щодо регулювання БПЛА, проте органами державної влади здійснюються спроби щодо його прийняття

Наведений вище аналіз дає підстави стверджувати, що не дивлячись на перспективність БПЛА, існує ряд проблем щодо їх використання, зокрема відсутня затверджена законодавча і нормативна база для проектування, виробництва, експлуатації та сертифікації безпілотної техніки.

Закріплення в окремому законі належного правового регулювання всіх питань, пов'язаних із безпілотними літальними апаратами в державі, стане одним із кроків на шляху піднесення України на рівень розвинутих країн Європи та Азії щодо правового регулювання БПЛА.

Розробка спеціальних освітніх програм для користувачів безпілотників, та навчальних програм для отримання сертифіката дистанційного пілота БПЛА, введення підготовки відповідних фахівців в авіаційних вузах, які володіють методикою створення та керування БПЛА, забезпечення ефективного державного контролю щодо використання БПЛА різних класифікаційних груп дозволить безпечно використовувати БПЛА у різних сферах діяльності з дотриманням вимог законодавства.

### **1.3. Загальні вимоги та відомості для створення та оновлення топографічних карт і планів**

Оновлення топографічних карт здійснюють з метою приведення їх змісту відповідно до сучасного стану місцевості та вимог чинних нормативно-технічних документів [13].

Топографічні карти оновлюють за матеріалами нових аерокосмічних знімачів або за сучасними картографічними матеріалами. Періодичність оновлення топографічних карт залежить від фізико-географічного

районування території, техногенного навантаження та кількості змін на місцевості і становить:

- для промислово-розвинутих густонаселених територій – 5–7 років;
- для сільськогосподарських середньонаселених територій – 8–10 років;
- для гірських, лісових і степових малонаселених територій – 10–15 років.

Сьогодні через кардинальні зміни в техніці і технологіях існує розширений перелік картографічних продуктів. До них належать [14]:

- топографічна карта з графічним відображенням ситуації та рельєфу;
- цифрова карта з ситуаційним та рельєфним змістом;
- цифровий ортофотоплан з фотографічним зображенням ситуації та графічним відображенням рельєфу;
- цифрова модель рельєфу.

Цифровий ортофотоплан має значні переваги перед іншими видами картографічної продукції, оскільки крім рельєфної і ситуаційної складових у вигляді умовних позначень одночасно є фотодокументом існуючого стану на час отримання зображення місцевості.

Незалежно від методу створення та оновлення, цифрові топографічні карти повинні відповідати таким основним вимогам [13]:

- забезпечувати можливість автоматизованого визначення даних про місце розташування об'єктів та їхніх характеристик;
- містити цифрове значення кількісних та якісних характеристик і кодів об'єктів у прийнятій системі класифікації і кодування картографічної інформації;
- мати таку структуру подання інформації, яка б забезпечувала можливість внесення змін і доповнень, конвертування у топологічні і описові формати геоінформаційних систем та пошарове виділення елементів змісту карт.

Згідно з наведеними вимогами для виконання експериментальних робіт з оновлення топографічної карти із використанням даних ДЗЗ застосовано загальноприйнятну технологічну схему, наведену на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Загальна технологічна схема створення та оновлення топографічної карти за матеріалами аерокосмічного знімання.

Топографічні плани масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 складають згідно з Основними положеннями та Основними положеннями з вибору масштабу і висоти перерізу рельєфу топографічних зйомок населених пунктів, затвердженими ГУГК та ВТУ ГШ ЗС СРСР 29 травня 1978 р., а також

Умовними знаками для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, затвердженими ГУГК 25.11.1986 р.[15]

Масштаб зйомки та основна висота перерізу рельєфу місцевості визначається з технічних інструкцій і технічних проектів (програм) робіт, залежно від призначення планів.

Таблиці загальнообов'язкових умовних знаків можуть доповнюватись необхідними знаками, погодженими з Головним управлінням геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України. Плани масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 створюються за результатами топографічних зйомок місцевості відповідних масштабів або на основі використання топографічних матеріалів більш великих масштабів. Топографічні плани виготовляються у графічному або цифровому вигляді. Топографічні зйомки виконуються аерофототопографічними та наземними методами. Для підтримання топографічних планів на сучасному рівні здійснюється їх оновлення. Зміст та точність топографічних планів визначаються масштабом та призначенням топографічних планів. Оформлення топографічних планів у графічному вигляді виконується з урахуванням сучасних можливостей поліграфічного виробництва. У цифровому вигляді топографічні плани складаються з урахуванням програмного та технічного забезпечення у встановлених структурах та форматах даних. Топографічні плани призначаються для використання в різних галузях народного господарства при вирішенні технічних питань. Цифрові моделі використовуються як для вирішення геодезичних питань (складання топографічних планів різних масштабів, їх оновлення, тиражування), так і інших питань, пов'язаних з геодезичною інформацією (наукові проблеми, інженерні завдання та інше). [15]

Середні помилки в положенні на плані предметів та контурів місцевості з чіткими обрисами відносно найближчих точок знімальної основи не повинні перевищувати 0,5 мм, а в гірських та лісових районах -

0,7 мм. На територіях з капітальною і багатоповерховою забудовою середні помилки у взаємному положенні на плані точок найближчих контурів (капітальних споруд, будинків і т.ін.) не повинні перевищувати 0,4 мм[7].

Середні помилки знімання рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не повинні перевищувати за висотою:  $1/3$  при кутах нахилу від  $2^\circ$  до  $6^\circ$  для планів масштабів 1:5000, 1:2000 та до  $10^\circ$  для планів масштабів 1:1000 та 1:500 [16].

Середні помилки знімання рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не повинні перевищувати за висотою:

- $1/4$  прийнятої висоти перерізу рельєфу при кутах нахилу до 2 град.;
- $1/3$  при кутах нахилу від 2 град. до 6 град. для планів масштабів 1:5000, 1:2000 та до 10 град. для планів масштабів 1:1000 та 1:500;
- $1/3$  при перерізі рельєфу через 0,5 м на планах масштабів 1:5000 та 1:2000;
- у лісовій місцевості ці допуски збільшуються в 1,5 раза[16].

У районах з кутами нахилу понад 6 град. для планів масштабів 1:5000 та 1:2000 та більше 10 град. для планів масштабів 1:1000 та 1:500 кількість горизонталей повинна відповідати різниці висот, що визначена на перегінах схилів, а середні помилки висот, які визначено на характерних точках рельєфу, не повинні перевищувати  $1/3$  прийнятої висоти перерізу рельєфу[16].

Топографічні плани масштабу 1:2000 використовуються:

- для розробки генеральних планів міст, селищ міського типу та сіл;
- для складання проектів детального планування окремих районів міста (селища), розбивочних креслень з прив'язками червоних ліній до опорних будинків і центрів геодезичних пунктів; технічних проектів забудови, інженерної підготовки та озеленення територій міст і селищ;

- для складання виконавчих планів гірничопромислових підприємств (копалин, шахт, кар'єрів, розрізів);
- для виконання попереднього детального розвідування і визначення запасів корисних копалин родовищ малих та середніх розмірів з складною геологічною будовою, неправильною формою залягання та нерівномірним розподілом оруднення;
- для складання технічних проектів промислових підприємств усіх галузей народного господарства, у тому числі морських портів суднобудівних заводів, електростанцій, гідротехнічних споруд, захисних дамб, трубопровідних, насосних та компресорних станцій, лінійних пунктів та ремонтних баз, переходів через великі річки та інше;
- для складання проектів та робочих креслень осушення та зрошення земель сільськогосподарського призначення;
- для ведення кадастру населених пунктів із одноповерховою забудовою. Топографічні плани масштабу 1:500 можуть застосовуватися:
- для забезпечення проектування об'єктів промислового,
- сільськогосподарського та цивільного будівництва;
- для складання виконавчих планів промислових підприємств, багатоповерхової забудови житлово-цивільного будівництва з густою мережею підземних інженерних комунікацій,
- для складання генеральних планів ділянок будівництва та робочих креслень багатоповерхової забудови
- для проведення вертикального планування,
- складання планів існуючих підземних мереж та споруд і прив'язки будівель та споруд до ділянок забудови міста;
- для складання робочих креслень гребель головного вузла басейнів добового регулювання, зрівнювальних шахт, напірних трубопроводів, будівель ГЕС та інших споруд;
- для ведення кадастру населених пунктів.

Потреба в топографічній зйомці в масштабі 1:500 повинна бути обґрунтована інженерними розрахунками.

На топографічних планах, як правило, відображаються всі об'єкти та контури місцевості, елементи рельєфу, які передбачені Класифікатором інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (додаток Порядку 2) та Умовними знаками для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500[17].

#### **1.4. Точність геодезичних робіт при їх виконанні за допомогою БПЛА**

З 18 по 27 березня 2015 року в місті Лос-Мочас (Мексика, штат Сіналоа) на базі Автономного університету Сіналоа (UAS), була проведена науково-практична конференція та семінар на тему "Використання аерофотозйомки з БПЛА в різних областях", учасником семінарів та Показових польотів виступила російська компанія "Геоскан" (Росія, Санкт-Петербург).

У ході семінару виконано 5 пілот-проектів різного призначення:

- контроль точності фотограмметричної обробки біля університету;
- моніторинг берегової лінії та оцінка мангрових заростей прибережної зони в районі населеного пункту Мавірі;
- моніторинг відкритих кар'єрних розробок у районі Тополобампо;
- створення тривимірної моделі історичного центру старовинного міста Ель-Фуерте;
- створення 3-мірної моделі скульптури засновнику університету в Лос-Мочасі.

Аерофотозйомку та фотограмметричну обробку матеріалів у програмі "Фотоскан" виконав провідний спеціаліст компанії "Геоскан" Бляхарський Д.П.

Таким чином, був виконаний проект оцінки точності фотограмметричної обробки результатів зйомки за допомогою БПЛА, виконаний на території університету, площею 50 га. Просторова роздільна

здатність знімків на місцевості склала 4 см. Для побудови фототріангуляції у якості опорних точок були використані тільки координати центрів проекції, отримані під час зйомки. Розбіжності на 15 контрольних точках після вирівнювання фототріангуляції склала в плані 6 см, а по висоті 9 см. Точність ортофотоплану склала 10 см. Крім цього, було виконано порівняння розмірів та висот споруд, отриманих за допомогою тахеометра та фотограмметричних вимірювань. Розбіжності становили 1-2 см [18].

### **1.5. Порівняння зйомки з безпілотних літальних апаратів із традиційними методами в економічному відношенні**

Традиційні методи польових вимірів займають тривалий час і пов'язані зі значними витратами виконання робіт. Недоліки традиційних методів очевидні і під час польових робіт на об'єктах з значною площею і важкопрохідних територіях. Альтернативою даним методам може бути аерофотозйомка за допомогою безпілотних літальних апаратів.

За допомогою використання технології БПЛА виконується завдання з оперативного картографування місцевості, а також отримання високоякісних даних з роздільною здатністю кілька сантиметрів на піксель. БПЛА можуть знімати до 40 км<sup>2</sup> на добу.

За одну годину для масштабу 1:500 безпілотник загалом знімає 5 км<sup>2</sup>, для 1:2000 – приблизно 15 км<sup>2</sup>. Зйомка виконується в три етапи: підготовчий, де готується планове висотне обґрунтування та формування польотного завдання, виконання аерофотозйомки, що проводиться в автоматичному режимі, постобробка отриманих даних, результатом якої є отримання ортофотоплану місцевості.

Вартість виконання робіт порівняно з традиційними геодезичними методами зовсім невелика і становить близько 20 тисяч гривень за 100 га, включаючи створення ортофотоплану та 3D моделі місцевості, тоді як середня

вартість виконання зйомки традиційними методами становить близько 5-8 тисяч гривень за 1 га.

Звичайно, традиційний метод зйомки знадобиться і при використанні БПЛА, так як в деяких місцях на ортофотоплані може бути видимість і необхідно буде виїхати на місцевість і провести вимірювання необхідних координат точок традиційними методами.

### **1.6. Висновки до розділу**

Використання БПЛА як аерознімальна платформа має великі перспективи при зйомці невеликих об'єктів та при зйомці лінійних об'єктів. Дані з БПЛА дозволяють отримувати якісні картографічні матеріали. Застосування БПЛА дає змогу знизити собівартість послуг на порядок порівняно з космічними або авіаційними системами. За допомогою БПЛА виникає можливість створювати топографічні плани масштабу 1:2000, 1:1000, 1:500 з відповідною точністю визначення просторових координат.

Аерофотозйомка з БПЛА може з успіхом замінити традиційну аерофотозйомку та наземні методи збору просторових даних з метою створення топографічних планів та карт великих масштабів.

## РОЗДІЛ 2. ПОНЯТТЯ ПРО ТОЧНІСТЬ ЦИФРОВИХ КАРТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1. Цифровий фотограмметричний знімок

Технології аналогової та аналігічної фотограмметрії скеровані на опрацювання фотограмметричного зображення, яке з математичного погляду запису образу є неперервною  $f(x, y)$  функцією, де  $x, y$  - плоскі прямокутні координати точки у площині знімка, а значення функції у цій точці є величиною яскравості (іноді кажемо про оптичну щільність).

Цифрова фотограмметрія оперує з іншим типом зображення - цифровим знімком. Цифровий фотограмметричний знімок - це сукупність елементів (пікселів), що утворюють матрицю зображення (растр) розміром  $m, n$  елементів; для кожного елемента відоме дискретне значення яскравості (оптичної щільності або кольору). Таке зображення має високі геометричні та радіометричні характеристики, придатне для вимірювання та інтерпретації образу, тобто для фотограмметричного опрацювання.

З математичного погляду запис цифрового знімка (образу) є функцією дискретною  $f(x, y)$ , де  $x, y$  визначають положення пікселя у матриці зображення. Фактично положення елемента у матриці задається номером рядка  $i$  та номером стовпчика  $j$ . Величина яскравості для напівтонового зображення записується в шкалі  $0, \dots, 255$ , що зручно для запису яскравості в пікселі одним байтом[20].

Існують два способи отримання цифрового фотограмметричного знімка:

- скануванням фотознімка, тобто перетворенням аналогового фотознімка в цифрове зображення за допомогою фотограмметричного сканера;

- отриманням цифрового зображення безпосередньо під час знімання об'єкта з використанням цифрової знімальної камери (системи).

## **2.2. Загальні відомості про ортофотоплани**

Ортофотоплан - це прямокутний план на основі трансформованих аерознімків, прив'язаних до геодезичній основі і чітким орієнтуванням на місцевості. Ортотрансформування проводиться шляхом суміщення прилеглих знімків і визначення відповідності точок, в основі лежить побудова цифрової моделі і триангуляція мережі. Ортофотоплан є основою топографічних планів, кадастрових карт, базисів інженерних вишукувань, карт місцевості. За своєю суттю виконує візуальну роль для характеристики району. Широке застосування ортофотоплани отримали під час ведення військових дій і зараз використовуються в топографічних, геологічних, а також меліоративних роботах. Крім того фотоплани використовуються при формуванні та оновленні цифрових карт і оперативної оцінки стану ґрунтів, зеленої рослинності, обробки і якості ріллі, і звичайно ж в будівництві, особливо в котеджної забудови.

Ортотрансформування усуває спотворення на знімку, обумовлені рельєфом місцевості і відхиленнями осі фотоапарата від вертикалі при зйомці, шляхом послідовного проектування трансформованого зображення можливо малими ділянками за допомогою ортофотопроекторів (рис. 2.1).

В результаті перетворення виходять ортофотознімків, які дозволяють скласти ортофотоплани на будь-які райони. Ортофотоплани особливо затребувані при геодезичних, топографічних, геологічних, гідрологічних, екологічних дослідницьких роботах, землеустрій, архітектурно-будівельному проектуванні і контролі будівельно-монтажних робіт [19].

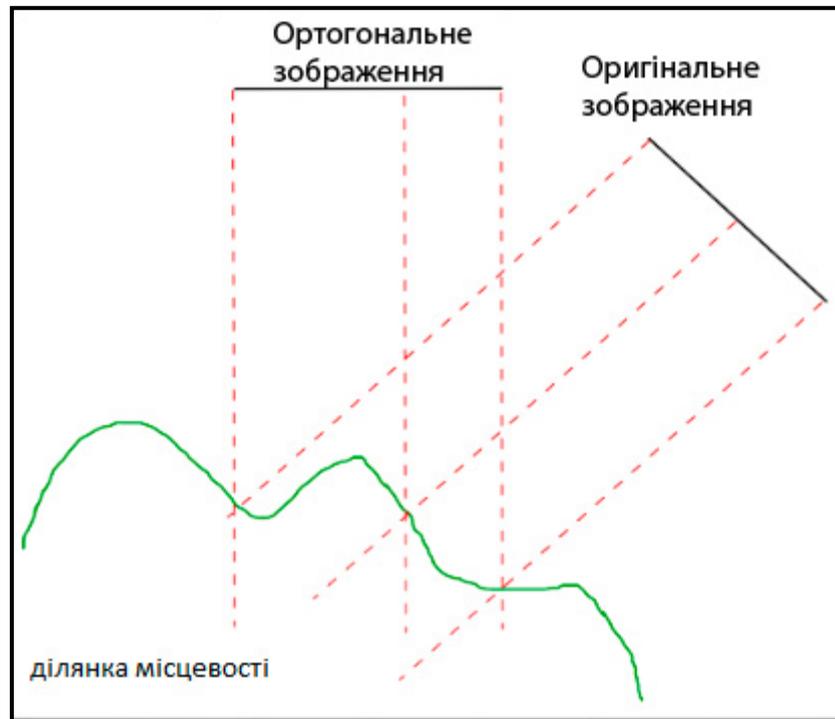


Рис.2.1. Перерозподіл пікселів на зображенні

Ортофотоплан, як матеріал пошуків, найбільш інформативним стає в проміжках між відсутністю снігу та листя, тобто весна та осінь. Цей період з найбільш відкритою земною поверхнею і служить бюджетною альтернативою лазерному скануванню. У разі отримання ортофотоплана влітку або взимку, необхідно проводити додаткову розкладку наземних коригувальних міток, що визначають «справжню висоту земної поверхні. Якщо ж ортофотоплан виконується в оглядових цілях, то обмежень по порі року немає.

Ортофотоплан за своїми характеристиками діляться по деталізації, а саме – де роздільна здатність на поверхні землі безпосередньо залежить від роздільної здатності знімка, наприклад, 5 см на поверхні дорівнює 1 пікселю на фото, що приблизно відповідає масштабу в плані 1:500. У свою чергу, чим детальніше і докладніше ортофотоплан, тим вище виходить вартість за 1 км<sup>2</sup>, що пов'язано з меншою висотою польоту, великою фокусною відстанню, а це впливає на ширину захоплення знімка, тривалість польоту і як результат – кількість знімків у роботі .

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.

В оперативності отримання даних БПЛА став найбільш важливим і затребуваним інструментом, що безпосередньо пов'язано з низькою вартістю, високою швидкістю розгортання і відмінними характеристиками підсумкових даних.

Використовуючи безпілотний апарат в аерофотозйомці, гарантується точність виконання та отримання ортофотоплана місцевості там, де застосовувати масивніший, а тим більше пілотований апарат недоцільно і економічно небажано.

Універсальність БПЛА пов'язана з його автономністю і малими швидкостями польоту, що служить безперечним плюсом при виконанні аерофотозйомки на площах до 100 км<sup>2</sup>.

Поетапне створення ортофотоплана – це польовий етап роботи з обльотом території, фіксування розпізнавальних знаків та обробка знімків у профільованому програмному комплексі шляхом ортотрансформування.

Заліт виконується заздалегідь спланованим маршрутом, де в основі закладень висота і фокусна відстань фотоапарата для отримання бажаної роздільної здатності знімків відповідно до необхідних значень см/пікс, відстань між паралельними маршрутами для оптимального перекриття сусідніх аерофотознімків, але не менше ніж 60%, що необхідно для коректного складання ортофотоплана, час польоту та конфігурації периметра зальоту. Справа в тому, що у випадку великих територій не завжди можливо заповнити обліт за один зліт, тому загальну територію розбивають на блоки. Іноді у разі побудови якісної тривимірної моделі необхідно виконати перехресне перекриття знімків, тому загальна протяжність маршруту і як наслідок кількість аерофотознімків збільшується вдвічі, отже час обробки знімків збільшується.

Для коректності даних майбутнього ортофотоплана 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. Це особливо актуально в районах із важкою доступністю.

Обробка аерофотознімків проводиться на спеціалізованих програмних комплексах.

Створення ортофотоплану проходить в три етапи:

- редакційно-підготовчі роботи – з'ясовується наявність даних для трансформування знімка, готуються файли вихідних даних, виконується копіювання вихідного знімка (вихідного растра), створюється матриця рельєфу;
- трансформування окремих знімків - на вихідному растрі орієнтуються і вимірюються опорні точки, а також створюється файл трансформованого зображення вихідного растра (трансформованого растра);
- створення ортофотоплану – відбувається зведення зображення на стиках трансформованих растрів (зшивання фотопланів) і нарізка фрагментів трансформованого растра по специфікаціях.

### **2.3. Поняття про цифрові моделі об'єкта (ЦМО, ЦММ, ЦМР)**

Кінець ХХ століття з його величезним за розмахом розвитком інформаційних технологій характеризується кардинальними змінами в інженерній науці та практиці. Тому закономірно, що сучасні методи комп'ютерного опрацювання інформації ґрунтуються на створенні цифрових моделей об'єкта (ЦМО), цифрових моделей місцевості (ЦММ) та цифрових моделей рельєфу (ЦМР), які широко використовують у ГІС і які є пріоритетними для розв'язання цілої низки наукових та народно-господарських завдань. Наприклад, інтерактивні методи проектування

інженерних споруд, аналіз просторових даних, управління територіями вимагають подання інформації про місцевість у цифровій формі. У більшості задач власне ЦММ є незамінною формою подання інформації про Землю або її частини від глобального до субрегіонального рівнів[20].

Моделі поверхні Землі зручно класифікувати як цифрові моделі об'єктів (ЦМО), цифрові моделі місцевості (ЦММ) та цифрові моделі рельєфу (ЦМР).

Об'єкт є елементом, виокремленим із загальної системи даних. Цифрова модель об'єкта подає інформацію про об'єкт, а також правила оперування з цією інформацією. Об'єкти земної поверхні визначаються геометричними даними, зв'язками, типом, атрибутами, часовими змінними. Геометричним поданням об'єкта є точка, лінія і поверхня. Цифрові моделі об'єктів залежно від задачі дослідження можуть мати самостійний характер (гідрографія, дорожня мережа) або ставати елементами цифрової моделі місцевості.

Під цифровою моделлю місцевості розуміють впорядковану множину точок з інформацією про місцевість у цифровій формі, визначену математичними залежностями, за якими однозначно з потрібною точністю можна отримати необхідні характеристики місцевості.

Кожен умовний знак є моделлю певного об'єкта місцевості.

Цифрова модель рельєфу визначена як цифрове і математичне подання рельєфу місцевості на основі дискретної сукупності вихідних точок, які дають змогу із заданою точністю відтворити реальну поверхню та її структуру. Основні сфери застосування цифрових моделей пов'язані з визначенням та побудовою ізоліній (у топографії - горизонталей), побудовою профілів, визначенням вододілів та ліній стоку, вибором оптимальних трас доріг, каналів, меліоративних мереж, інших лінійних об'єктів, виділенням басейнів водозборів, визначенням обсягів земляних робіт, об'ємів винятих порід. Зростає кількість робіт, кінцевою метою яких стає отримання даних про зсувні, ерозійні та деформаційні процеси. До окремої групи робіт, пов'язаних з

рельєфом, належить визначення площ затоплених та підтоплюваних земель, що є сферою гідрологічних досліджень.

За розташуванням вихідних точок і порядком формування цифрові моделі рельєфу можна класифікувати за трьома типами: ті, які не враховують структуру рельєфу, ті, які частково враховують структуру рельєфу і ті, які враховують структурну будову рельєфу.

До моделей, які не враховують структуру рельєфу, можна зарахувати:

- регулярні моделі;
- моделі, задані точками з довільним розташуванням.

До моделей, які частково враховують структуру рельєфу, належать:

- регулярні моделі, доповнені точками, розташованими на структурних лініях;
- і характерними точками;
- моделі, в яких точки розміщені через однаковий інтервал;
- моделі, в яких вихідні точки розташовані за профілями.

Моделі, які враховують структуру рельєфу, поділяють на:

- структурні, в яких вихідні точки моделюють структуру рельєфу;
- моделі, в яких вихідні точки розташовані на ізолініях залежно від їхньої кривини.

Дані для створення ЦМР отримують з фотограмметричних вимірювань, з наземного (геодезичного) знімання, скануванням горизонталей на картах з фіксацією результатів у цифровій формі, за матеріалами дистанційного зондування або з використанням лазерних та інших систем, які дають просторові координати точок місцевості.

Цифрові моделі рельєфу в актуальних програмних продуктах створюються на основі знімальних точок і структурних ліній, які описують злам природного (уріз річок, яри) або штучного походження. При цьому утворюється мережа, що складається з трикутників, вершинами яких є знімальні точки. За допомогою цього можна відображати рельєф за

допомогою горизонталей, враховувати висотні позначки точок з відомими координатами у плані і навіть будувати розріз поверхні землі по заданій лінії.

## **2.4. Джерела, що впливають на точність фотограмметричної обробки знімків**

### **2.4.1. Джерела помилок фотограмметричних вимірів**

Помилки, що діють при фотограмметричних вимірах, можна об'єднати в п'ять груп залежно від загального джерела виникнення. Це помилки: 1) знімок; 2) вимірювального приладу; 3) розпізнавання точок; 4) методики обробки; 5) опорних точок[20].

1. Основними джерелами помилок знімка є джерела, що викликають відхилення в положеннях точок на ньому від положень, що відповідають ідеальній центральній проекції. Їхні дії розглянуті у розділі 2.3.2.

Потрібно лише відзначити, що сумарна дія всіх джерел призводить до того, що точність побудови сучасних аеро- та космічних фотознімків дорівнює приблизно  $m_{xy} = 15-20$  мкм, а наземних фотографій 10-15 мкм.

2. У цифрових фотограмметричних систем власне комп'ютер не вносить помилок у вимірювання та обчислення. Помилки виникають через неправильно введені у нього програм. Отже, у цих систем інструментальні помилки носять методичний характер. Аналітичні фотограмметричні прилади в якості вимірювальної системи мають оптико-механічну конструкцію - стереокомпаратор, який накладає на вимірювання свої помилки. Однак ці помилки невеликі і в цілому прилади показують високу інструментальну точність, що дорівнює 1,5-3 мкм у площині знімків[].

3. Помилки, що виникають через неправильне розпізнавання точок та відповідно, наведення вимірювальної марки на ці точки, можуть істотно знижувати точність фотограмметричних вимірювань. Досвід показує, що для точних фотограмметричних робіт необхідно перед аерозйомкою виконати маркування точок на об'єкті зйомки. При цьому найкращий ефект у

розпізнаванні точок буде досягнутий, якщо крапки будуть пофарбовані фарбою, що дає максимальне відображення світла в тій зоні спектру, для якої аберації у об'єктива фотокамери зведені до мінімуму. У цьому випадку буде забезпечуватись найбільша чіткість зображення замаркованої точки, і наведення на неї вимірювальної марки буде виконуватись з точністю 5-10 мкм.

4. Методичні помилки виникають через порушення обробки знімків. Чим більше введено відступів від суворої обробки, тим нижче точність кінцевого результату, але при цьому скорочується час обробки. Якщо потрібно високоточний результат, то обробку проводять за строгою теорією, хоча це і займає більше часу.

5. Помилки опорних точок враховуються при фотограмметричних вимірюваннях залежно від того, з якою точністю координати цих точок були визначені. Якщо ця точність вище точності фотограмметричних вимірів в 2-3 рази, то координати опорних точок вважають безпомилковими. В іншому випадку остаточну точність фотограмметричних вимірювань визначають, підсумовуючи помилки опорних точок і фотограмметричних вимірів.

Наприклад, при створенні топографічних карт у масштабах 1:10000 і дрібніші геодезичні виміри координат опорних точок вважаються безпомилковими. У масштабах 1:500 і 1:1000 точність кінцевих результатів фотограмметричних вимірювань наближається до точності геодезичних вимірів і, отже, помилки останніх слід враховувати.

На закінчення слід зазначити, що неможливо визначити вплив кожного джерела помилок окремо. З іншого боку, характер дії кожного джерела змінюється залежно багатьох чинників. Можливо також дію невідомого джерела. У зв'язку з цим у фотограмметрії методику обробки знімків будують таким чином, що після виключення з вимірювань основної частини систематичних помилок, що вносяться джерелами, дії яких досить добре описуються математичними залежностями, частину помилок, що залишилася,

виключають як єдину помилку за допомогою спеціальної методики, званої калібруванням знімків.

#### **2.4.2. Джерела, що спотворюють центральну проекцію на реальному знімку**

Формули перетворення координат між системами координат знімка та об'єкта виводять за умови, що зображення об'єкта на знімку отримано в ідеальній центральній проекції. Однак під дією різних факторів зображення на реальному знімку відхиляється від центральної проекції. Зміщення точок, що виникли, призводять до того, що обчислення за формулами зв'язку між координатами точок знімків і об'єкта дають наближені результати. Виняток та облік помилок йде за двома напрямками[21]:

- 1) отримання знімків, максимально наближених до центральної проекції, тобто. на етапі фотографування намагаються виключити або частково ослабити вплив відомих джерел помилок;
- 2) застосування такої методики фотограмметричної обробки, при якій будуть максимально враховані помилки знімків.

До джерел помилок, що викликають спотворення центральної проекції на реальних знімках, відносяться:

- дісторсія об'єктива фотокамери;
- дісторсія вирівнюючої скляної пластини фотокамери;
- не площинність поверхні світлочутливого приймача: фото-плівки або матриці (лінійки) ПЗЗ;
- клиноподібність світлофільтра;
- атмосферна рефракція;
- деформація ілюмінатора;
- внутрішня рефракція;
- деформація фотоматеріалу.

Використання цифрових фотокамер виключає або видозмінює вплив перелічених вище джерел помилок. У цих фотокамерах відсутня скляна пластинка, до якої у фотокамерах притискається фотоплівка. Невирівнювання фотоплівки в площину замінюється не площинністю поверхності матриці або лінійки ПЗЗ. Вплив світлофільтру для обох видів фотокамер можливий тільки в тому випадку, коли зйомка ведеться у певних зон спектру. Що стосується деформації фотоматеріалу, потрібно мати на увазі, що при перекладі на сканері фотографій у цифрову форму на деформацію знімку накладаються інструментальні помилки сканера.

Вплив неплоскої поверхні світлочутливого приймача: матриці (лінійки) ПЗЗ або фотоплівки, на положення точок на знімку показано на рис. 2.2. При плоскій поверхні точка місцевості зобразиться у положенні  $m_0$ , а при відхиленні від площини на величину  $h$  - у точці  $m$ . При цьому радіус-вектор  $r$  точки виходить зменшеним на величину  $\delta r$ . Якщо прийняти, що вектор  $\delta r$  повинен бути меншим за 20 мкм, то відхилення від плоскості, при  $r = 70$  мм не має перевищувати 20 мкм для  $f = 70$  мм та 60 мкм для  $f = 200$  мм. З цього можна зробити висновок що, вимоги до вирівнювання в плоскість поверхні світлочутливого матеріалу вище у короткофокусних фотокамер, ніж у довгофокусних[20].

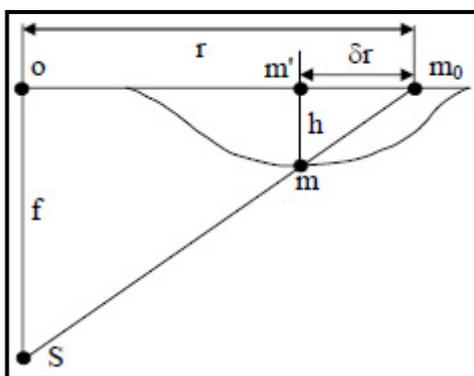


Рис.2.2. Вплив неплоскої поверхні світлочутливого приймача

Світлофільтр, що встановлюється перед об'єктивом фотокамери, повинен являти собою скляну плоскопаралельну пластинку, однорідну по всьому об'єму, без бульбашок та подряпин.

Зміщення точок на знімку під впливом атмосферної рефракції виникають через те, що оптичний промінь, що йде від точки  $M$  місцевості (рис. 2.3) до об'єктива фотокамери, проходить шари повітря різної щільності, з різною температурою і тиском, отже з різними коефіцієнтами заломлення. В результаті оптичний промінь пройде не по прямій  $MS$ , а по кривій, вигнутій у зовнішній бік. Кут  $\lambda$  між прямою  $MS$  і дотичною до кривої в точці  $S$  називають кутовою фотограмметричною рефракцією.

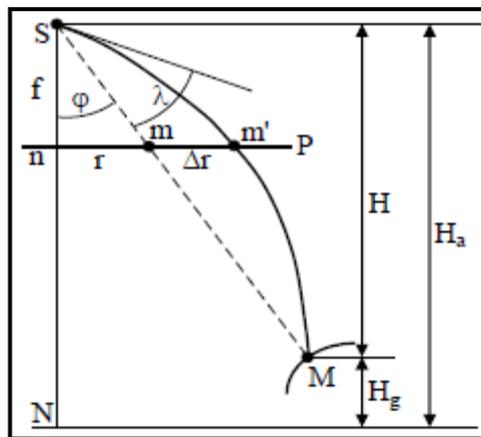


Рис.2.3. Зміщення точок на знімку під впливом атмосферної рефракції

На знімку точка  $M$  зобразиться не в точці  $m$ , а точці  $m'$ , тобто під впливом атмосферної рефракції точки зміщуються від точки надиру  $n$  вздовж радіусів-векторів  $r$ . Так як  $r^2 = x^2 + y^2$ , то  $dr = \frac{\Delta x}{r} = \frac{\Delta y}{r}$ . Замінивши  $dr$  на  $\Delta r$ , а  $d$  на  $f$  отримаємо, що величина зміщення точки під впливом рефракції визначатиметься за цією формулою:

$$\Delta r = - \frac{f^2 + r^2}{f} \lambda.$$

(2.1)

На підставі цієї формули та з урахуванням, що  $r^2 = x^2 + y^2$  и  $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta y}{y}$ , можна отримати формули, за якими можна вводити поправки у виміряні на знімку координати точок.

$$\Delta x = -\lambda x \frac{f + \frac{x^2 + y^2}{f}}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad \Delta y = -\lambda y \frac{f + \frac{x^2 + y^2}{f}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.2)$$

Формули (2.2) виведені для горизонтальних аерознімків, але їх можна застосовувати і для планових аерознімків. При великомасштабній аерозйомці вплив атмосферної рефракції невеликий і її можна не враховувати[20].

### 2.4.3. Дисторсія об'єктива фотокамери

Дисторсія є одним із видів хроматичної аберації об'єктива і викликає порушення подібності між об'єктом та її зображенням, тобто. об'єктив не має ортоскопії. Порушення ортоскопічності об'єктива відбувається через:

- 1) неможливості досягти її вже на етапі розрахунку оптичної системи;
- 2) похибок при виготовленні окремих оптичних компонентів системи;
- 3) похибок при складанні оптичної системи.

При відсутності похибок складання вершинні точки сферичних поверхонь лінз, складаючих об'єктив, розміщуються з його оптичної осі. Така оптична система вважається центрованою щодо її оптичної осі, а виникаючі у ній порушення ортоскопічності, що виникає в ній, називають дисторсією центрованої системи. Спотворення зображення, що виникають через порушення центрування лінз, називають нецентрованою дисторсією, при якій симетричність усунення точок не дотримується.

Дисторсія оптичної системи спричиняється похибками виготовлення оптичних компонентів та монтажем їх у цілісну систему. Геометрична інтерпретація цього явища показана на рис. 2.4.: промінь, який входить в систему під кутом  $\omega_1$ , виходить з неї під іншим кутом  $\omega_2$ . На рис. 2.4. відрізок  $aa_0$  є дисторсійним зміщенням ідеально побудованої точки  $a_0$  у положення  $a$ .

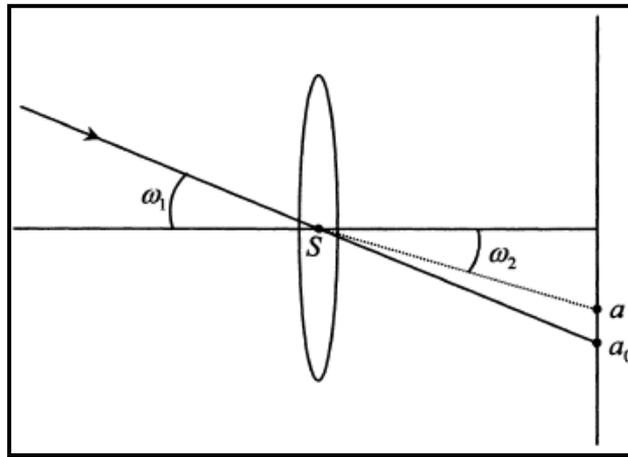


Рис.2.4. Радіальна дисторсія оптичної системи

Окрім радіальної дисторсії існує тангенціальна дисторсія - зміщення точки зображення у напрямку, перпендикулярному до радіального зміщення. Тангенціальна дисторсія, як правило, на порядок менша від радіальної. Існують два принципові підходи до боротьби з цим негативним явищем:

- визначення параметрів дисторсії для конкретної знімальної системи;
- конструювання та виготовлення так званих бездисторсійних систем, в яких дисторсія зведена до мінімуму.

Визначення параметрів дисторсії можна виконати декількома методами, які поділяють на дві групи: лабораторні методи (із застосуванням гоніометрів та калібраторів) та польові методи (з використанням спеціальних тестових полігонів).

У зв'язку із загальним науково-технічним прогресом уможливилось створення метричних оптичних систем з дисторсією (на краю поля зображення) в 2-3 мкм при форматі знімка 230x230 мм. Це означає, що величина дисторсії співрозмірна з інструментальною точністю стереовимірювань; тому такі системи називають бездисторсійними (як приклад, аерофотокамера RC-30 фірми Leica, Швейцарія).

#### 2.4.4. Зміщення точок на знімку, спричинені його нахилом

На похилому знімку точки зміщені від положень, які вони повинні займати на горизонтальному знімку, отриманою тією ж фотокамерою із того ж центру проєкції. Отримаємо формулу, за якою можна розрахувати ці усунення, і в результаті визначити, чи можна по цьому знімку виконувати вимірювання, не виконуючи фотограмметричних перетворень. Скористаємося тим, що у обох знімків є спільні точки, розташовані на лінії неспотворених масштабів  $h_c h_c$  (Рис.2.5.)[26].

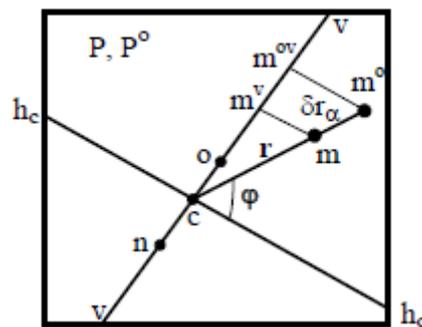


Рис.2.5. Лінії неспотворених масштабів  $h_c h_c$

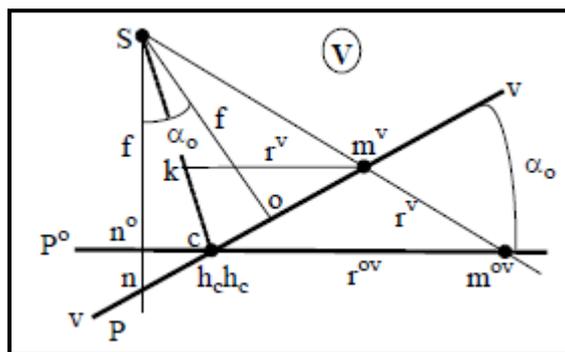


Рис.2.6. Лінії неспотворених масштабів  $h_c h_c$

Перпендикулярно до цієї лінії проходить головна вертикаль  $vv$ , яка є лінією перетину знімка головною вертикальною площиною  $V$ , проведеної через головний оптичний промінь  $So$  та прямовисну лінію  $Sn$  (рис.2.6 виконаний у цій площині)[20].

На рис. 2.5. похилий  $P$  та горизонтальний  $P^o$  знімки показані суміщені після повороту навколо лінії  $h_c h_c$ . На перетині лінії  $h_c h_c$  із головною вертикаллю  $vv$

знаходиться точка нульових спотворень  $c$ . Властивістю цієї точки є те, що кути між напрямками, проведеними через неї на похилому та горизонтальному знімках однакові. Тому на малюнку напрямку на точку  $m$  на похилому знімку і відповідну точку  $m^0$  на горизонтальному знімку збіглися.

Враховуючи сказане, використовуємо полярну систему координат, яку розташуємо на обох знімках в такий спосіб. Лінію неспотворених масштабів  $h_c$   $h_c$  візьмемо як полярну вісь, а точку  $c$  - як полюс. Вибір цієї системи координат пояснюється ще й тим, що вона буде змінювати своє положення у площині знімка залежно від кутових елементів зовнішнього орієнтування. В результаті можна не брати до уваги наявність кута  $k$  розвороту знімка, а замість поперечного  $\omega$  та поздовжнього  $\alpha$  кутів нахилу використовувати сумарний кут  $\alpha_0$  нахилу знімка[25].

Положення точок  $m$  та  $m^0$  на знімках задані радіус-векторами  $r=cm$  та  $r^0 = cm^0$  і кутом  $\varphi$  повороту цих радіус-векторів проти годинникової стрілки від полярної осі. Спроектуємо точки  $m$  і  $m^0$  на головну вертикаль  $vv$  та отримаємо точки  $m^v$  та  $m^{0v}$ . Радіус-вектори  $r^v$  і  $r^{0v}$  цих точок дорівнюватимуть[20]:

$$r^v = cm^v = r \sin\varphi, r^{0v} = cm^{0v} = r^0 \sin\varphi. \quad (2.3)$$

З подібності трикутників  $Scm^{0v}$  та  $Skm^v$  (рис. 2.6) можна записати:

$$r^{0v} = \frac{f r^v}{f - r^v \sin\alpha_0} \quad (2.4)$$

Підставимо радіус-вектори (2.3) в (2.4) і після поділу лівої та правої частин рівності на  $\sin\varphi$  отримаємо формулу зв'язку координат точок похилого та горизонтального знімків у полярній системі координат[25]:

$$r^0 = \frac{f r}{f - r \sin\varphi \sin\alpha_0} \quad (2.5)$$

На похилому знімку усунення точок відбуваються вздовж їх радіус-векторів на величини  $\bar{b}r_a = r - r^0$ . У цю формулу підставимо формулу (2.5) і після

перетворення отримаємо формулу зміщення точки на знімку, викликаного його нахилом.

$$\delta r_{\alpha} = - \frac{r^2 \sin \varphi \sin \alpha_0}{f - r \sin \varphi \sin \alpha_0} \quad (2.6)$$

Так як, у планових аерознімків кут нахилу не перевищує  $3^\circ$ , у знаменнику формули (2.6) можна опустити член  $r \sin \varphi \sin \alpha_0$  порівняно з фокусною відстанню  $f$ . В результаті отримаємо наближену формулу:

$$\delta r_{\alpha} = - \frac{r^2 \sin \varphi \sin \alpha_0}{f} \quad (2.7)$$

На підставі формули (3.10) можна зробити висновок, що:

- 1)  $\bar{b}r_a = 0$  при  $\varphi = 0$  або  $180^\circ$ , тобто. точки, розташовані на лінії неспотворених масштабів, не зміщуються під впливом кута нахилу аерознімку;
- 2)  $\bar{b}r_a = \max$  при  $\varphi = 90^\circ$  або  $270^\circ$ , що відповідає лінії головної вертикалі  $vv$ , а при  $r = \max$  на точках, розташованих на головній вертикалі краю фотографії.

З формули (2.7) також видно, що величина зсуву  $\bar{b}r_a$  знаходиться у зворотній пропорційній залежності від величини фокусної відстані фотокамери та у прямій квадратичній залежності від радіус-вектора точки (формата кадру). Тому, якщо потрібно отримати знімки з мінімальними зсувами, викликаними його кутом нахилу, аерозйомку слід виконувати довгофокусними фотокамерами з невеликим форматом кадру.

#### 2.4.5. Зсув зображення у площині прикладної рамки фотокамери

Зсув зображення в площині прикладної рамки фотокамери виникає через її лінійні та кутові переміщення під час експонування знімка. Основне джерело зсуву зображення, це лінійне переміщення фотокамери напрямку польоту носія. У момент початку відкриття затвора точка  $M$  (рис. 2.7) об'єкта зображується на знімку  $P$  у точці  $m$ . За час витримки  $t$  центр проєкції  $S$  переміщається на відстань  $SS' = Vt$ , де  $V$  - швидкість руху фотокамери.

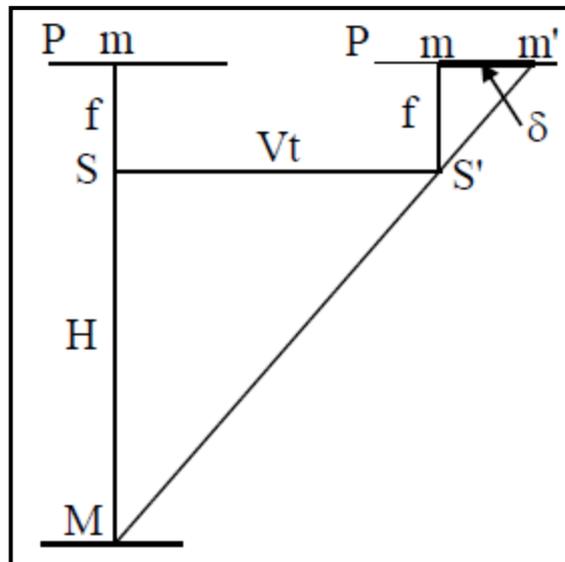


Рис.2.7. Зсув зображення у площині прикладної рамки

У цей час точка  $M$  продовжує зображуватися на знімку  $P$ , і у момент закриття затвора вона буде проектуватися в точку  $m'$ . В результаті точка  $M$  зобразиться на знімку у вигляді відрізка  $mm' = b$ . Цей відрізок і є зсувом зображення у площині прикладної рамки. Його довжину можна розрахувати по формулі, отриманої з подібності трикутників  $MSS'$  та  $S'mm'$  [23].

$$\delta = Vt \frac{f}{H} \quad (2.8)$$

Так як, довжина лінії  $mm'$  дорівнює величині зміщення центру проекції  $SS'$  у масштабі зйомки.

З формули видно, що величина  $b$  прагне до мінімуму, якщо швидкість  $V$ , витримка  $t$  і фокусна відстань  $f$  теж прагнуть мінімуму, а висота фотографування  $H$  прагне максимуму.

Проте відрізок  $mm'$  повністю не видно знімку, тому що приймач світлового потоку чутливий до певної сили. Через це на початку відкриття і наприкінці закриття затвора, коли світловий потік недостатньо сильний, початок і кінець лінії  $mm'$  не буде видно. Видиму частину лінії називають мастилом зображення.

Якщо зсув зображення, розрахований за формулою (2.8), перевищує 0,05 мм, використовують фотокамеру з компенсатором цього зсуву, наприклад, шляхом зміщення прикладної рамки разом з приймачем світлового потоку у напрямку зсуву зображення.

Необхідно відзначити, що зсув зображення в площині прикладної рамки не викликає спотворення центральної проекції, але призводить до нерізкості зображення і, отже, зниження точності наведення вимірювальної марки, а також погіршення дешифрованості зображення.

## **2.5. Поняття трансформування знімків**

Трансформування знімків це перетворення зображення, отриманого в одній проекції, в зображення в іншій проекції. При виконанні такого перетворення потрібно враховувати геометрію побудови зображення у знімальній системі:

- чи фіксувалися всі точки кадру в один момент часу або зображення будувалося строково або поточно;
- на яку поверхню проектувалися точки: плоску, циліндричну або сферичну;

Крім того, потрібно враховувати:

- чи є знімок горизонтальним або похилим;
- був сфотографований об'єкт плоским або рельєфним;
- які особливості проекції, в якій має бути отримане трансформоване зображення[21].

В процесі такого перетворення усувається зміщення точок, викликане нахилом аерофотознімка, й одержане зображення (яке називається трансформованим) при рівнинній місцевості рівнозначно плану. Зменшення цих зміщень до допустимої величини здійснюється багатократним трансформування аерофотознімка з різним збільшенням (трансформування по зонах) (рис. 2.8).

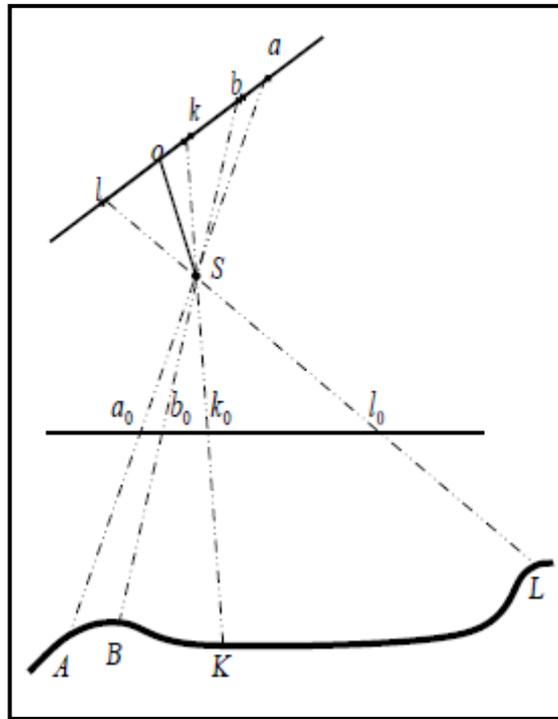


Рис.2.8. Схема трансформування

Геометрична сутність трансформування полягає у відновленні зв'язки проєктувальних променів у тому вигляді, в якому вона була у момент аерофотознімання. Регулюючи висоту розташування екрана підбирають масштаб зображення[21].

Після сполучення опорних точок об'єктивів діафрагментують, закривають світлофільтром й основу з підкладкою прибирають. Попередньо визначають дослідним шляхом витримку, що забезпечує хорошу переробку деталей, і на екран кладуть фотопапір, який притискають до екрану покривним склом[22].

Є різні способи сполучення крапок при трансформуванні, що видозмінюються залежно від конструктивних особливостей фототрансформатора, оскільки їхні різні типи мають різні настановні рухи. Трансформування вважається виконаним, якщо при точному поєднанні центральної точки несуміщення для інших трансформаційних точок не перевищує 0,4 мм.

### 2.5.1. Принцип цифрового ортофототрансформування знімків

Цифрове ортофототрансформування знімків є однією з основних операцій обробки цифрових знімків на цифровій фотограметричній станції. Вихідне цифрове зображення складається з елементарних ділянок-пікселів, які трансформують кожен окремо з використанням значень елементів орієнтування знімка і даних цифрової моделі рельєфу (ЦМР). В результаті ортофототрансформування топографічних знімків, особливо великих масштабів, отримують зображення практично в ортогональній проекції[21].

На рис. 2.9 наведено технологічну схему цифрового трансформування знімків.

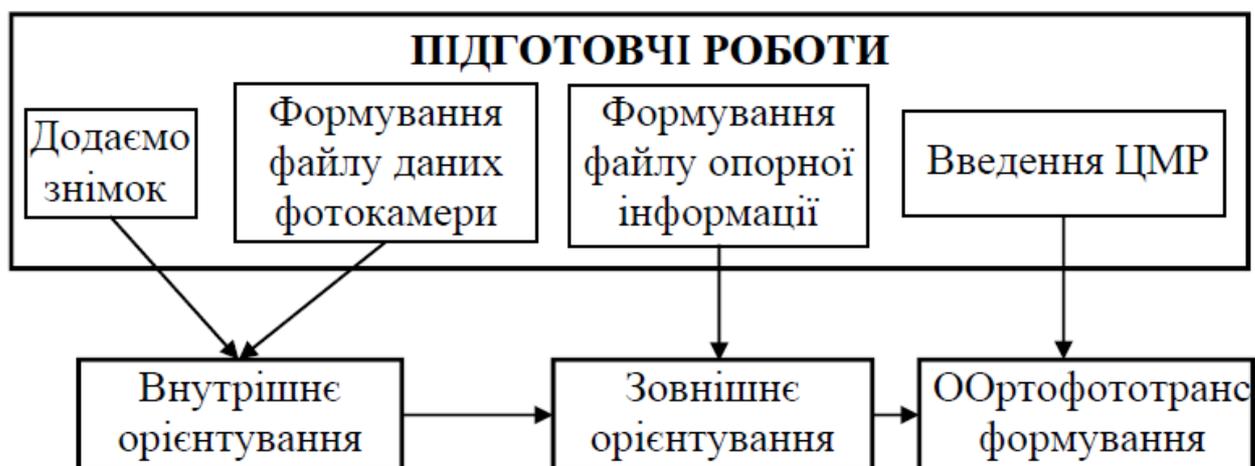


Рис.2.9. Технологічна схема

Для виконання цифрового ортофототрансформування знімка необхідно мати на комп'ютері:

- 1) знімок у цифровій формі;
- 2) дані фотокамери;
- 3) каталог опорних точок;
- 4) цифрову модель рельєфу.

Якщо після фототриангуляції для знімків, що трансформуються, були отримані елементи орієнтування, то відразу приступають до цифрового ортофототрансформування знімків. Якщо ж елементи орієнтування знімків не

відомі, то спочатку виконують внутрішнє та зовнішнє орієнтування знімків, а потім переходять до їх цифрового ортофототрансформування[24].

Далі пояснюється зміст основних процесів для формування трансформованого зображення у цифровій формі (рис.2.10).

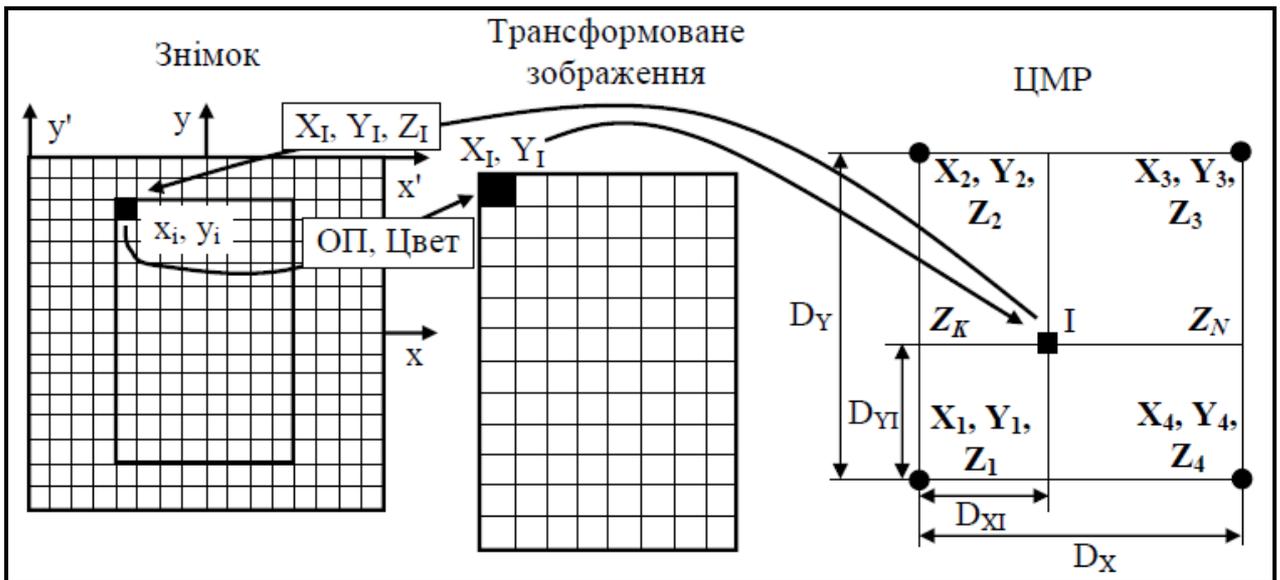


Рис.2.10. Основні процеси фототрансформування зображення у цифровій формі

1. Спочатку створюють порожню матрицю трансформованого зображення.

1.1. На знімку задають межі ділянки зображення, що підлягає трансформування. Зазвичай ця ділянка трохи більша за робочу площу знімка, щоб існувало перекриття із трансформованими ділянками сусідніх знімків. Кордон задається у вигляді прямокутника.

1.2. Комп'ютер, використовуючи координати  $x'$  і  $y'$  кутів ділянки в цифровій системі координат  $c'x'y'z'$ , перераховує їх у систему координат  $o'xyz$  знімка, а потім розраховує за формулами координати  $X$  та  $Y$  цих кутів на місцевості. Так як, висоти  $Z$  на місцевості не відомі, при розрахунку використовується або висота фотографування, або величина середньої висоти, визначена за висот опорних точок.

1.3. Встановлюється розмір  $\Delta$  пікселя матриці трансформованого зображення на місцевості. Так як, трансформоване зображення

використовуватиметься для векторизації контурів при створенні карти певного масштабу, розмір пікселя розраховують за формулою  $\Delta = 0,07 M/1000$  (м), де  $0,07 \text{ мм}$  - роздільна здатність графічного зображення,  $M$  - знаменник масштабу карти.

1.4. Використовуючи розмір  $\Delta$  пікселя на місцевості та координати  $X$  та  $Y$  кутів ділянки, комп'ютер створює порожню матрицю трансформованого зображення, що є сіткою квадратів. З цією метою координати лівого верхнього кута матриці комп'ютер змінює так, щоб вони стали кратні розміру  $\Delta$  пікселя, та додає до них послідовно заданий розмір пікселя, тим самим будуючи рядково ліворуч і зверху вниз порожню матрицю трансформованого зображення. В результаті кожен піксель матриці отримує координати  $X_I$  та  $Y_I$ .

2. Наступним етапом є наповнення матриці зображенням поверхні місцевості.

2.1. За координатами  $X_I$ ,  $Y_I$  кожного пікселя матриці трансформованого зображення комп'ютер знаходить на ЦМР відповідну точку та визначає її висоту  $Z_I$ . ЦМР являє собою багатогранну поверхню, що складається з чотирикутників, які в ортогональній проекції на площину є квадрати. Це дозволяє шляхом білінійного інтерполювання між найближчими точками ЦМР з відомими висотами обчислити висоту точки, що вишукається. На рис. 2.10 для точки  $I$  такі висоти  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$ . За висотами  $Z_1$  та  $Z_2$  розраховуються висоту  $Z_K$ , а за висотами  $Z_3$  та  $Z_4$  – висоту  $Z_N$ , використовуючи формули[24]:

$$Z_K = Z_1 + \frac{(Z_2 - Z_1)D_{YI}}{D}, \quad Z_N = Z_4 + \frac{(Z_3 - Z_4)D_{YI}}{D}. \quad (2.9)$$

За цими висотами розраховуються висоту  $Z_I$  за формулою:

$$Z_I = Z_K + \frac{(Z_N - Z_K)D_{XI}}{D} \quad (2.10)$$

2.2. Координати  $X_I$ ,  $Y_I$ ,  $Z_I$  комп'ютер підставляє у формули та обчислює координати  $x_i$  і  $y_i$  в системі координат  $o'xyz$  знімка, а потім цифровій системі координат  $c'x'y'z'$ .

2.3. За обчисленими координатами  $x_i'$ ,  $y_i'$  комп'ютер знаходить на знімку

піксель, що відповідає пікселю матриці трансформованого зображення, і визначає числове значення оптичної густини (ОГ). Якщо трансформується кольорове зображення, додатково визначається показник кольоровості.

2.4. Отримане значення ОГ та показник кольоровості надають пікселю матриці трансформованого зображення.

2.5. Переміщуючись послідовно по матриці вздовж рядків від пікселя до пікселя, комп'ютер виконує операції, зазначені у пунктах 2.1-2.4 і таким чином, формує трансформоване зображення в цифровій формі і виводить його на екран дисплея[21].

## 2.6. Основні формули ідеального випадку зйомки

В ідеальному випадку зйомки аерознімки горизонтальні та паралельні базису фотографування, а їх головні базисні площини збігаються з площиною  $XZ$ . Перетин цієї площини знімків показано на рис. 2.11, звідси  $P_1$  і  $P_2$ , на яких знаходяться точки  $a_1, a_2, b_1$  та  $b_2$ , є зображеннями точок місцевості  $A$  та  $B$ [25].

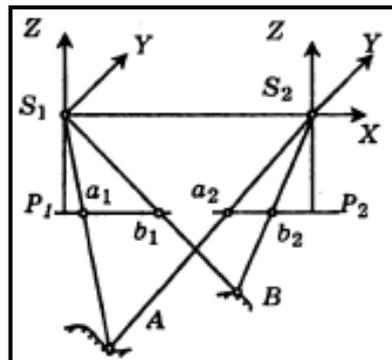


Рис.2.11. Ідеальний випадок зйомки

Оскільки кутові елементи зовнішнього орієнтування знімків дорівнюють нулю, то координати точок знімків у проміжних системах  $S_1XYZ$  і  $S_2XYZ$  дорівнюють:  $X_1=x_1^0, Y_1=y_1^0, Z_1=Z_2-f, X_2=x_2^0, Y_2=y_2^0$

Щодо обраної системи координат будемо мати:  $X_{S_1}=Y_{S_1}=Z_{S_1}=0, B_x=B, B_y=Bz=0$

З цими значеннями формула для визначення скалярного множника  $N$  після найпростіших перетворень набуде вигляду:

$$N_1 = N_2 = B/p^0, \quad (2.11)$$

а просторові координати точки місцевості  $M$  щодо лівого центру фотографування, будуть дорівнювати:

$$X = \frac{B}{p^0}x_1^0, \quad Y = \frac{B}{p^0}y_1^0, \quad Z = -\frac{B}{p^0}f \quad (2.12)$$

Очевидно (рис. 9.6), що  $Z_A \neq Z_B$  та загальному випадку, вважаючи  $-Z_i = H_i$  на підставі можна записати:

$$p_i^0 = -\frac{Bf}{Z_i} = \frac{f}{H_i} B = \frac{B}{m_i} \quad (2.13)$$

Тобто поздовжній паралакс дорівнює базису фотографування в масштабі визначеної точки, і в цьому полягає його фізичний та геометричний зміст.

По цій причині точки місцевості з однаковими відмітками мають одне й те саме значення поздовжнього паралаксу; точки з різними відмітками будуть мати різні поздовжні паралакси.

Використовуючи формули , знайдемо перевищення між точками  $A$  та  $B$  (рис. 2.11), виразивши його через різницю висот фотографування  $H_i$

$$h = H_A - H_B = \frac{B}{p_a^0}f - \frac{B}{p_b^0}f = \frac{B}{p_a^0}f \frac{p_b^0 - p_a^0}{p_b^0} \quad (2.14)$$

Після нескладних перетворень рівняння матиме такий вигляд:

$$h = \frac{H_A \Delta p^0}{p_a^0 + \Delta p^0}, \quad (2.15)$$

При вирішенні багатьох завдань вираз у знаменнику можна замінити середнім базисом фотографування, що цілком можливо у разі рівнинної місцевості. Тоді:

$$h = \frac{H_A \Delta p}{b_{cp}} \quad (2.16)$$

Для визначення очікуваної помилки визначення перевищень за формулою (2.16) виконаємо її диференціювання по  $h$ ,  $b$ ,  $H$  та  $\Delta p$ . Переходячи до середніх квадратичних помилок, отримаємо:

$$m_h = h \sqrt{\left(\frac{m_b}{b_{cp}}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Delta p}}{\Delta p}\right)^2 + \left(\frac{m_H}{H}\right)^2} \quad (2.17)$$

Застосовуючи принцип рівного впливу, легко отримати:

$$\frac{m_b}{b} = \frac{m_{\Delta p}}{\Delta p} = \frac{m_H}{H} = \frac{m_h}{h\sqrt{3}}. \quad (2.18)$$

Зауважимо, що помилка  $m_{\Delta p}$  різниці поздовжніх паралаксів залежить від спотворень, викликаних впливом кута нахилу. Вважаючи її рівною максимальному зсуву точки  $\bar{b}_{max}$ , при  $r_c = b_{cp} = 70\text{мм}$ ,  $\alpha_c = 10'$  та  $f = 100\text{мм}$ , нехтуючи рештою помилок, отримаємо[25]:

$$m_h/h = b_{cp} \alpha'_c / f \rho' \approx 1/400 \quad (2.19)$$

Формули (2.15) та (2.16) широко застосовуються для наближеної оцінки перевищень між довільними точками аерознімки при географічних, геологічних та інших обстеженнях території, коли застосування складного фотограмметричного обладнання є недоцільним або економічно не виправданим[25].

## 2.7. Висновки до розділу

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 ортофотоплана 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. Це особливо актуально в районах із важкою доступністю.

## **РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИКОНАННЯ АЕРОЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ ТА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИКОНАНИХ РОБІТ**

### **3.1. Польові роботи аерофотозйомки з використанням БПЛА**

Польові роботи включають:

- геодезичні (планово-висотна підготовка) роботи - визначення координат тимчасових базових станцій та точок ППО;
- аерофотознімальні роботи - підготовка польотного завдання, аерофотозйомка, контроль якості АФС.

До початку виконання робіт було виконано збір та аналіз вихідних даних. Топографічні матеріали більших масштабів на ділянку виконання робіт не встановлені.

Перед початком проведення топографо – геодезичних робіт та координування об’єктів і контурів місцевості на острові Муромець у Деснянському районі м. Києва, який розташований поблизу Труханового острова, інженером-геодезистом методом GNSS - спостережень з використанням двочастотного високоточного GNSS - приймача (призначеного для визначення місцеположення географічних об’єктів за сигналом супутникових радіонавігаційних систем) eLNav i70 та з використанням мережі перманентних базових GNSS-станцій компанії «System Solution». Найближчими до об’єкта знімання були референцні станції GLSV та KVDA розташовані на відстані близько 10 км. Витяг з каталогу координат пунктів міської геодезичної мережі м. Києва у місцевій системі координат УСК-2000 (ідентифікатор МСК-80) був замовлений у КП «Київський інститут земельних відносин» з такими номерами: 0735-3714, 0735-7326, 0734-16050, 0734-20115 (які додаються у Додатках А, Б).

Кількість пунктів на об'єкті недостатньо для виконання топографічного знімання в масштабі 1:500, тому в рамках даної роботи виконано планово-висотну розбивку мережі згущення.

. Протокол обробки GNNS-спостережень у режимі RTK показано у додатку В.

### 3.2. Планово-висотне обґрунтування аерофотозйомки

Вимоги до планово-висотного обґрунтування (ПВО) для аерофотозйомки за допомогою БПЛА наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вимоги до планово-висотного обґрунтування для аерофотозйомки за допомогою БПЛА

Вимоги	Площадна зйомка				Лінійна зйомка		
	1:500 0	1:2000	1:500	1:200	1:5000	1:2000	1:500
Кількість точок на 1 км <sup>2</sup>	0,5	2	6	10	0,5	2	6
Точність визначення координат точок ПВО	20 см	10 см	5 см	3 см	20 см	10 см	5 см

Для передачі (розповсюдження) системи координат і висот на всю ділянку робіт було закладено репери у формі металевого дюбеля.

Місця закладки пунктів вибиралися відповідно до таких умов:

- забезпеченість нормальними умовами спостережень, відсутність закритості та відбивних поверхонь;
- забезпеченість безпеки центру на тривалий період та взаємної видимості;

- якщо немає поблизу пунктів (до 1-2 км) сильних джерел випромінювання;
- закритість горизонту на пунктах трохи більше 15°;
- доступ до пункту будь-коли, незалежно від погодних умов.

Усього закладено 13 пунктів супутникової опорної геодезичної мережі 1 розряду у формі металевого дюбеля. Розпізнавальним знаком служить підпис білою фарбою. Вони використовувалися у якості опорних точок для проведення АФЗ робіт.

На реперах виконані GPS вимірювання, в режимі реального часу RTK, що забезпечують точність  $\pm 5\text{мм} + 1 \cdot 10^{-6}$ , згідно з технічними характеристиками використовуваного GPS обладнання фірми «ElNav i70», що задовольняє вимогам для побудови полігонометричних мереж 1 розряду. Після закінчення робіт та обчислень було складено каталог координат та висот реперів.

Перед початком проведення льотних робіт, виконувалася закладка планово-висотного обґрунтування, у вигляді мережі контрольних точок (маркерів), також у якості контрольних точок будуть слугувати пікети, які отримувалися методом GNSS-спостережень у вигляді твердих контурів місцевості, рівномірно розкладених з кроком до 100 м одна від одної на ділянках зйомки.

Маркера (Рис.3.2) закладалися, у вигляді хрестів, що контрастують з поверхнею, на характерних контурах ситуації, а в місцях відсутності об'єктів, придатних для розпізнавання на аерофотознімках. Для кожної точки були отримані координати у місцевій системі координат УСК-2000 (МСК-80).



Рис. 3.2. Маркер у вигляді хреста

Точність визначення координат точок планово-висотного обґрунтування - 4 см у плані та 5 см за висотою. Для виконання робіт використовувався двочастотний GNNS-приймач «ElNav i70».

Таблиця 3.2

Каталог координат опорних та контрольних точок.

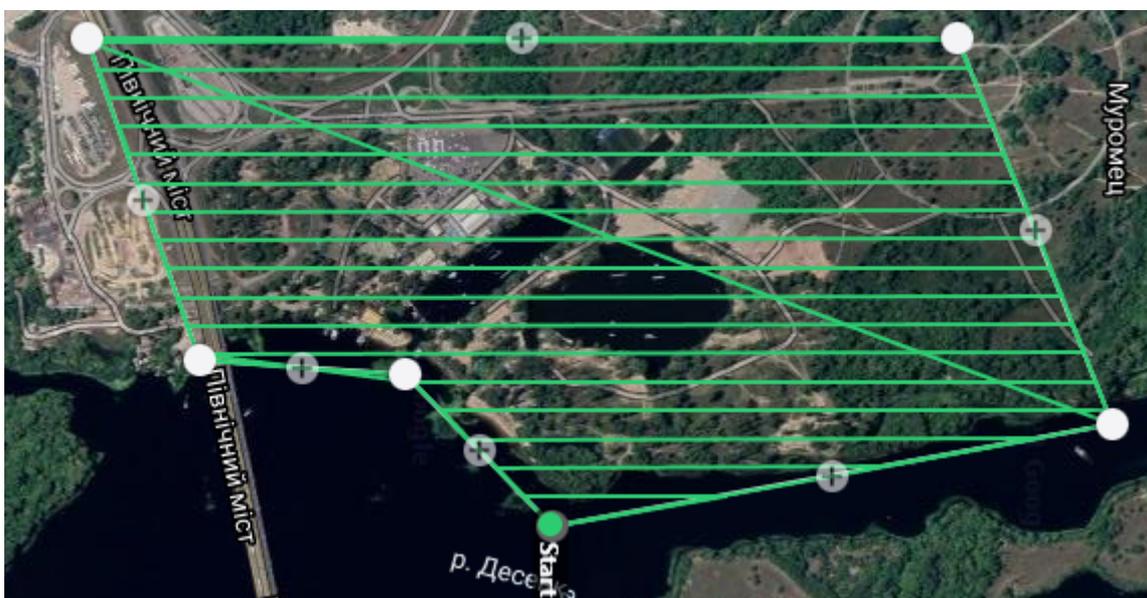
Номер точки	Координата по X	Координата по Y	Координата по Z
1	5596730.137	303122.824	93.667
2	5596379.914	303662.217	93.006
3	5597037.277	303575.027	94.106
4	5596945.862	303125.080	93.902
5	5596275.962	303554.894	93.101
6	5596222.754	303084.043	96.677
7	5595867.680	303323.435	104.484
8	5595776.208	303103.994	111.067
9	5596615.125	303334.746	95.000
10	5596408.180	303158.248	Відсутня
11	5596408.302	303159.609	Відсутня
12	5596436.073	303156.445	Відсутня
13	5596436.059	303157.779	Відсутня

### 3.3. Планування АФС робіт

Планування АФС здійснювалося за допомогою програми DroneDeploy

Програма DroneDeploy є спеціально розробленим інструментом для підготовки та здійснення польотів з використанням безпілотного комплексу для аерофотозйомки таких моделей БПЛА, як DJI. Вона надає можливості для роботи з площинними об'єктами (зйомка полігонів) та протяжними об'єктами (лінійна зйомка). Програма має кілька режимів роботи: простий режим та режим експерта. Функції простого та експертного режиму ідентичні, але в експертному режимі відображається вікно з властивостями проекту, які користувач може відредагувати. Переключення між режимами не змінює глобальних властивостей проекту. Наприклад, можна почати складання проекту в простому режимі, при необхідності перейти в режим експерта для зміни будь-яких параметрів, а потім повернутися в простий режим (щоб вікно параметрів не займало робочу область екрана). Вихідними параметрами планування є:

- тип камери;
- необхідний просторовий дозвіл - 5 см;
- поздовжнє перекриття - 70%, поперечне перекриття - 60%;
- доступна в інтернеті ЦМР, завантажена у вільно-доступному ресурсі SAS-Planet.



### Рис. 3.3. Планування АФЗ

В результаті програма розраховує кількість маршрутів та кадрів, а також координати центрів кадрів. Для створення 3D-моделі пропонується виконати заліт «хрестом». Створений план зйомки дозволяє отримати аерофотознімальні дані, із заданими параметрами: роздільна здатність на місцевості 2.5 см/піксель або краще, поздовжнє перекриття – 75%, поперечне перекриття – 65%.

На початку знімального дня проводиться аналіз погодних умов на придатність до зйомки. Перед кожним польотом проводиться технічний огляд БПЛА, встановлюються картки пам'яті та перевіряються акумулятори на заряд.

Під час проведення АФЗ робіт проводилася оцінка якості отриманих кадрів та отриманих даних GPS та IMU за такими критеріями:

- фактична висота польоту квадрокоптера під час здійснення зйомки;
- відсутність у даних збоїв;
- відсутність несприятливих погодних умов;
- відповідність точності GPS та кількість видимих супутників;
- швидкість повітря.

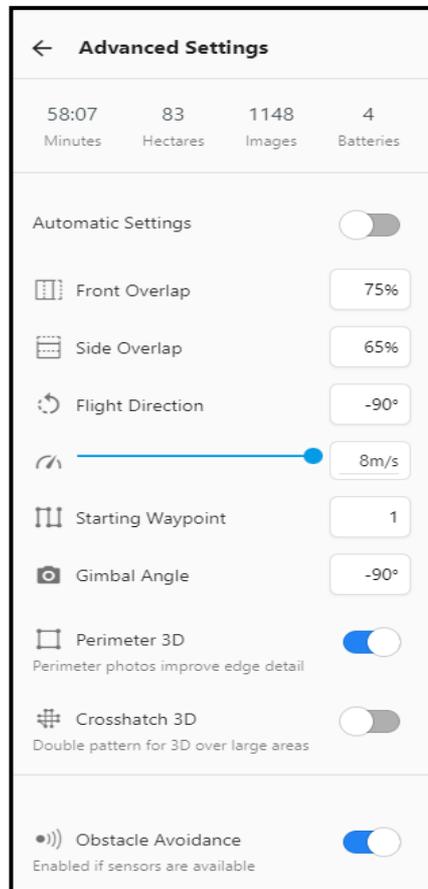


Рис. 3.4. Параметри польоту

Горизонтальною системою відліку для публікації всіх координат, на етапі аерофотознімальних робіт, прийнято Всесвітню геодезичну систему - WGS-84. Усі виміряні вертикальні геопросторові дані мають бути виражені як висоти щодо середнього рівня моря (MSL).

Після завершення АФЗ робіт потрібно знімки скопіювати на ПК. У результаті проведеної роботи отримали 1148 фотографії з геоприв'язкою. Подальшу обробку аерофотознімку було виконано у ПЗ «Agisoft Metashape Pro».

### 3.4. Короткі відомості про програму «Agisoft Metashape Pro»

В програмі «Agisoft Metashape Pro» реалізована сучасна технологія створення тривимірних моделей фотографій високої якості на основі цифрових фотографій.

Для реконструкції 3D моделі об'єкта Agisoft Metashape дозволяє використовувати фотографії, зняття будь-якими цифровими фотокамерами з будь-яких ракурсів (за умови, що кожен етап реконструйованої сцени видно принаймні з двох позицій зйомки). Процес створення тривимірної моделі повністю автоматизовано.

Основні задачі, які вирішує програма це - відновлення 3D поверхні, побудова ортофотоплана і ЦММ. Робота з проектом здійснюється в чотирьох етапах:

- визначення параметрів зовнішнього та внутрішнього орієнтування камер. На першому етапі Metashape знаходить загальні точки фотографій і за ними визначає всі параметри камер: положення, орієнтацію внутрішню геометрію (фокусна відстань, параметр дисторсії тощо). Результатами є розріджена хмара загальних точок у 3D просторі моделі та дані про положення та орієнтацію камер. В Metashape розріджена хмара точок не використовується на подальших стадіях обробки (крім режиму побудови моделі на основі розрідженої хмари точок) і служить тільки для візуальної оцінки якості вирівнювання фотографій. Розріджена хмара точок може бути експортована для подальшого використання у зовнішніх програмах. Дання про положення та орієнтацію камер використовується на подальших стадіях обробки;

- побудова щільної хмари точок. На другому етапі програма виконує побудову щільної хмари точок на основі положень камер, розрахованих на першому етапі обробки, і використовуваних фотографій. Перед переходом на наступний етап створення 3D моделі або перед експортом моделі, щільна хмара точок може бути відредагована і класифікована;

- на третьому етапі програма будує тривимірну поверхню: полігональну модель та/або ЦММ. Тривимірна полігональна модель описує форму об'єкта на підставі щільної хмари точок. Також можлива швидка

побудова моделі на підставі лише розрідженої хмари точок. Користувач може вибрати проекцію для побудови ЦММ з наступних варіантів: географічна, циліндрична та проекція на площину. Крім того Metashape дозволяє вказати клас точок, для яких буде будуватися ЦММ (якщо щільна хмара була класифікована на попередньому етапі);

- на фінальному етапі в Metashape доступно будівництво текстур для полігональної моделі (якщо вона була побудована), а також побудова ортофотоплану. Ортофотоплан проектується на поверхню, вказану користувачем, це може бути ЦММ або полігональна модель.

### **3.5. Методика виконання камеральних фотограмметричних робіт у ПЗ «Agisoft Metashape Pro»**

Фотограмметрична обробка аерофотознімків проводилася в програмному забезпеченні «Agisoft Metashape Pro», що реалізує найсучасніші фотограмметричні технології.

ПЗ «Agisoft Metashape Pro» дозволяє створити високоточну текстуровану тривимірну модель місцевості, прив'язати її по центрах фотографування та/або наземних точок, сформувати з отриманої моделі ортофотоплан і матрицю висот. Результати можна вивести у найпоширеніших форматах. За матеріалами аерофотозйомки програма дозволяє отримувати ортофотоплан та матрицю висот, що відповідають вимогам точності топопланів масштабу 1:500. Процес обробки даних в програмі гранично автоматизований, достатньо тільки вибрати режим роботи програми.

Першим етапом є створення проекту в ПЗ «Agisoft Metashape Pro» і завантаження в нього знімків, вибір системи координат WGS-84 і завантаження координат центрів знімків. ПЗ виконує процес автоматичної аеротриангуляції, формується модель у вигляді розрідженої хмари точок, уточнюються координати центрів фотографування та визначаються елементи орієнтування знімків.

Після завантаження аерофотознімків у Metashape, необхідно визначити положення та орієнтацію камер для кожного кадру і побудувати розріджену хмара точок. Ці операції виконуються на етапі вирівнювання.

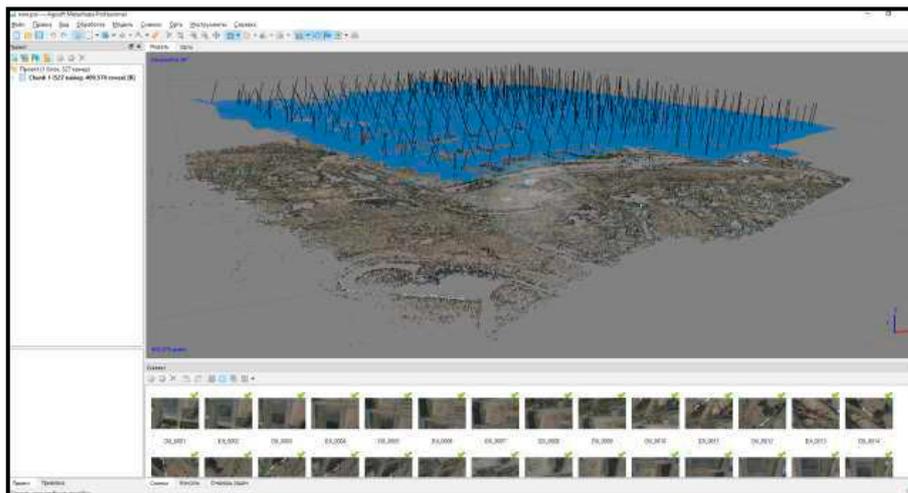


Рис. 3.5. Створена розріджена хмара точок та положення камер

Параметри хмари точок:

- точок - 903,485 з 1,076,293
- СК помилка репроекування – 0.289409 (1.01835 пікселя)
- Макс. помилка репроекування – 1.34857 (82.8933 пікселя)
- Середній розмір точок – 1.3341 пікселя

На етапі вирівнювання фотографій Metashape розраховує параметр внутрішнього та зовнішнього орієнтування камер. Це процедура заснована тільки на даних, що містяться у зображеннях, що може призвести до деяких похибок в отриманих оцінках параметрів. Точність остаточних оцінок залежить від низки факторів, таких як відсоток перекриття фотографій та форма поверхні досліджуваного об'єкта. Ці помилки можуть призвести до нелінійних деформацій підсумкової моделі.

На етапі геоприв'язки модель піддається лінійним перетворенням з використанням 7 параметрів перетворення подібності (3 параметри трансляції, 3 параметрів обертання та 1 параметр розтягування/стиснення). Такі перетворення можуть компенсувати лише лінійне спотворення моделі.

Результат нелінійних спотворень не може бути усунений у рамках такого підходу. Як правило, це є основною причиною виникнення помилок при виконанні геоприв'язки моделі.

У процесі оптимізації Metashape перераховує координати точок і параметри камер, мінімізуючи суму помилок проектування і помилок вирівнювання по опорних координат (координати наземних точок опор і/або координат камер).

Точність геоприв'язки може істотно збільшитися внаслідок оптимізації. Особливо рекомендується проводити оптимізацію у випадках, коли передбачається проведення будь-яких вимірів з урахуванням моделі.

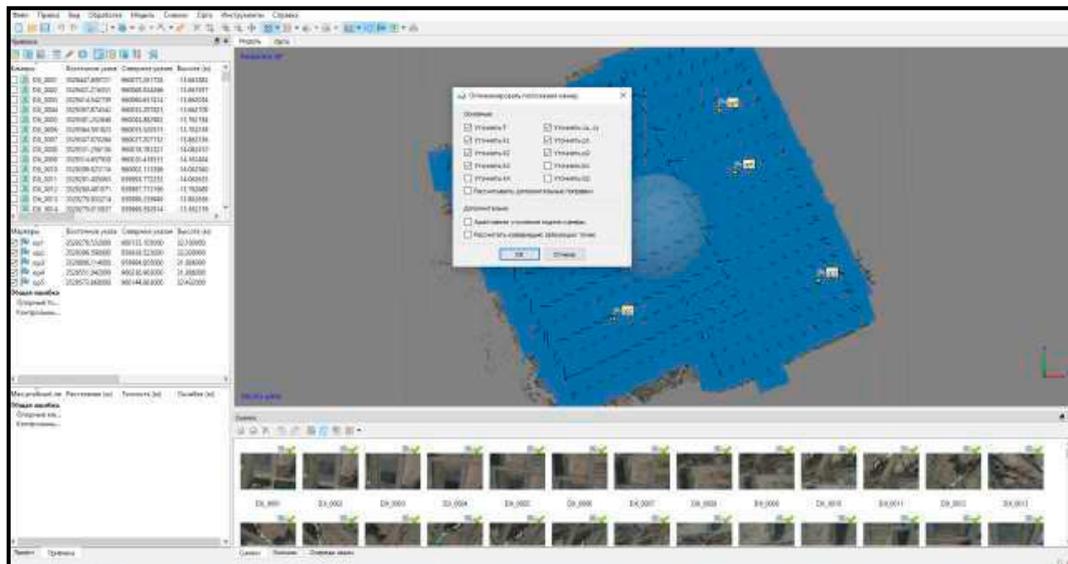


Рис. 3.6. Оптимізація положення камер

Після завершення процесу оптимізації дані про помилки геоприв'язки будуть оновлені. На ілюстрації 3.7 можна побачити результат помилки після оптимізації даних. Бачимо, що помилки геоприв'язки у плані 5,3 см, а по висоті 17 см.

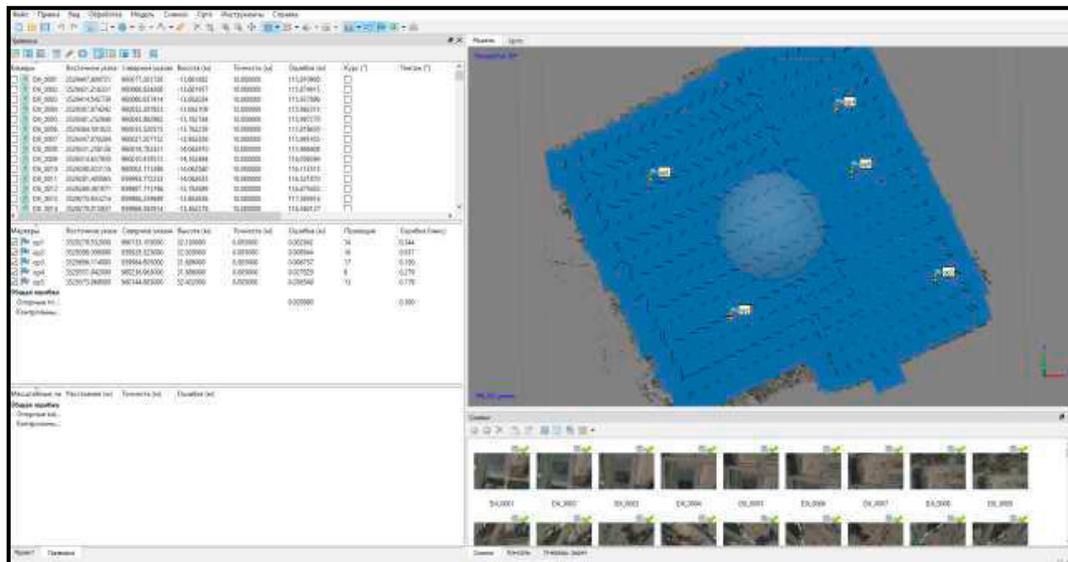


Рис. 3.7. Помилки геоприв'язки

На наступному етапі побудуємо щільну хмару точок. Для побудови щільної хмари точок:

- вибираємо пункт «Побудувати щільну хмару...» у меню «Обробка»;
- -у діалоговому вікні «Побудувати щільну хмару» вбираємо середню якість, тому що вона не вимагає великого часу на обробку та задовольняє нашим умовам;
  - у діалоговому вікні відобразатиметься хід виконання поточної операції.

У результаті програма зробила середньої якості (параметр фільтрації глибини - помірний) 20,841,042 точки. Готову щільну хмару точок зображено малюнку 3.8.

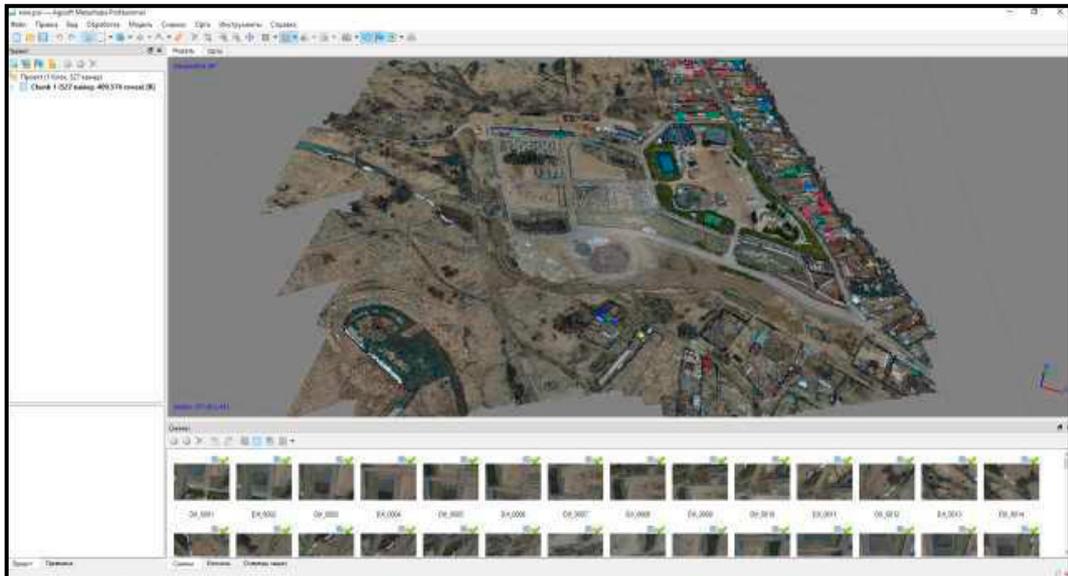


Рис. 3.8. Результат готової щільної хмари точок

Metashape дозволяє відображати модель поверхні у вигляді регулярної сітки значень висоти, тобто створювати ЦММ. ЦММ може бути розрахована на підставі щільної хмари точок, що дозволяє отримати найбільш точні результати, а також на підставі розрідженої хмари точок. На ЦММ програма дозволяє виконувати вимірювання координат точок, відстаней, площ та об'ємів, а також відображати профілі розрізів по заданій користувачем трасі.

Після побудови щільної хмари точок можна починати робити побудову цифрової моделі місцевості та цифрової моделі рельєфу.

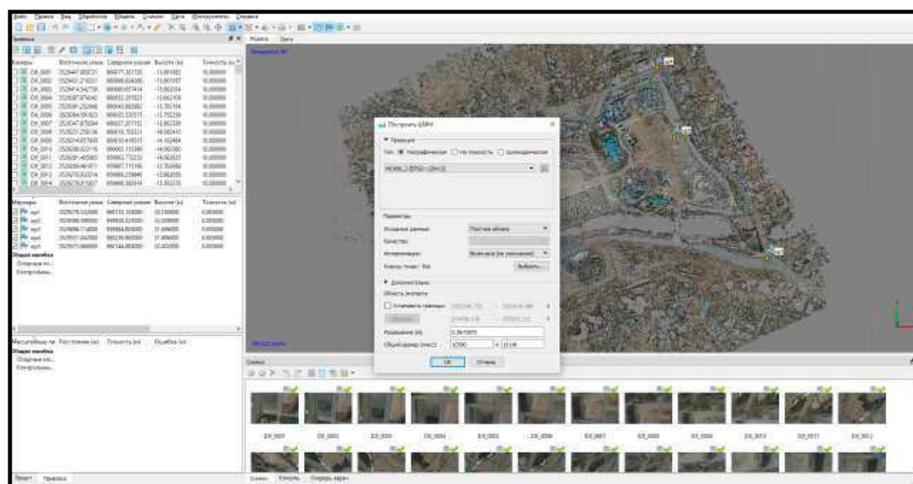


Рис. 3.9. Побудова цифрової моделі місцевості

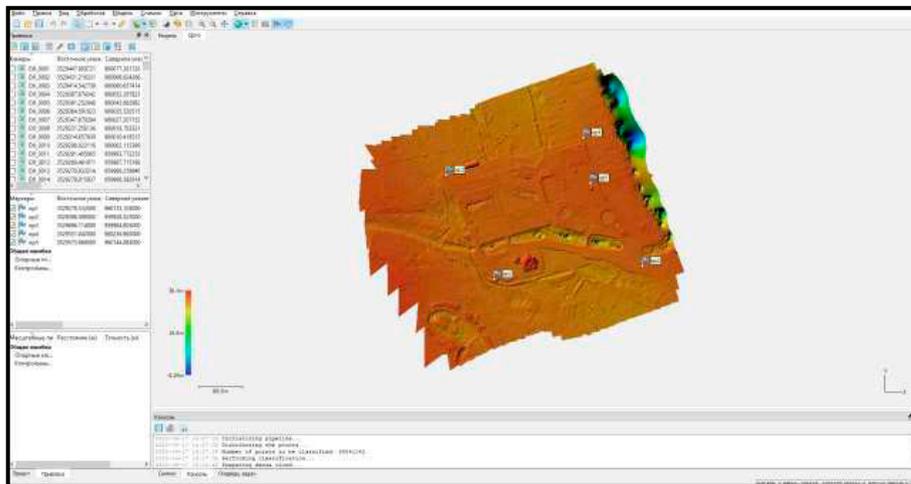


Рис. 3.10. Цифрова модель рельєфу

Після виконання операцій отримуємо ЦММ, зображень на рис. 3.9. Розмір ЦММ - 10590x10140, при 6.73 см/пікс.

Ортофотоплан будується на основі вихідних знімків (що дозволяє створювати зображення високої роздільної здатності) та реконструйованої моделі. Найчастіше ортофотоплан є необхідним результатом обробки АФЗ, крім того, ортофотоплан може бути побудований у разі, якщо необхідний детальний вид об'єкта.

Для побудови ортофотоплану:

- вибираємо команду «Побудувати ортофотоплан...» у меню «Обробка»;
- у діалоговому вікні «Побудувати ортофотоплан» задаємо систему координат (за замовчуванням вибрано WGS-84);
- решту параметра вставляємо за замовчуванням;
- натискаємо кнопку ОК;

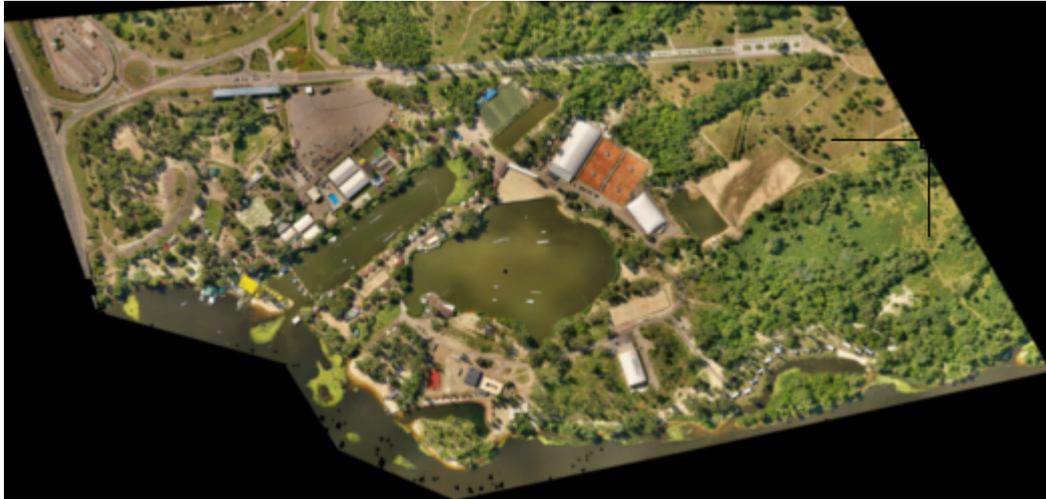


Рис. 3.11. Ортофотоплан у повному вигляді

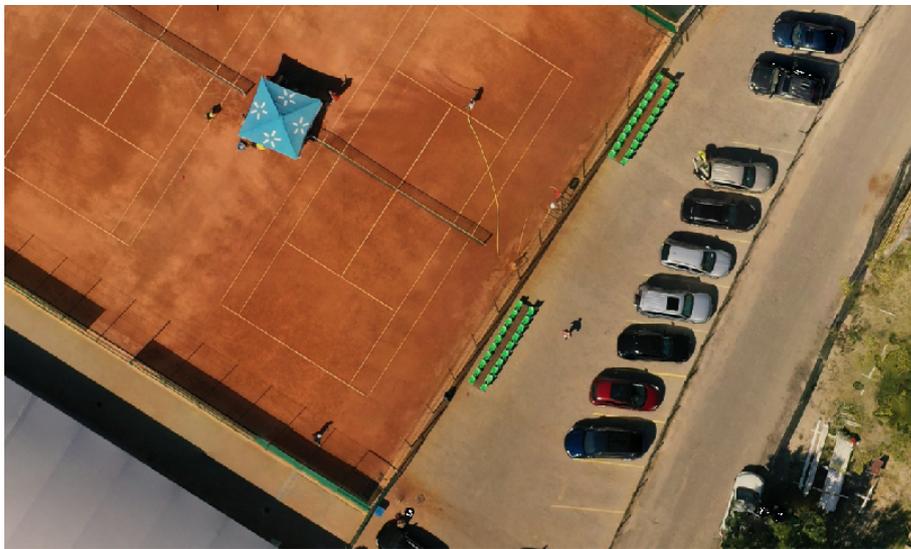


Рис. 3.12. Ортофотоплан у більш деталізованому вигляді

Для того щоб почати виконувати трансформіцію зображення, а вже потім виконати дешифрування ортофотоплану та зробити топографічний план місцевості, потрібно експортувати отриманий результат в програму, які зможуть задовольнити цю потребу, такими програмами є ПЗ «Autodesk Autocad».

Для експорту ортофотоплану:

- в меню "Файл", пункт в меню «Експорт» вибираємо «Експорт ортофотоплана. »;

- з впадаючого списку вибираємо бажаний формат експорту. Для подальшої роботи потрібно вибрати тип файлу .tif;
- у діалоговому вікні «Експорт ортофотоплана» вказуємо систему координат, у якій проводитиметься прив'язка ортофотоплана. У нашому випадку ми будемо робити трансформацію зображення по опорним точкам в ПЗ «Autodesk Autocad»;
- Натискаємо кнопку «Експорт. »;

### 3.6. Трансформація ортофотоплана в ПЗ «Autodesk AutoCAD» та створення топографічного плану

Отримані дані аерофотознімальних робіт імпортувалися в ПЗ «Autodesk AutoCAD». Далі потрібно приблизно перемістити ортофоплан у місце, де розташовуються наші опорні точки. Для подальшої роботи треба скористатися модулем «Raster Design».



Рис. 3.14. Фрагмент зображення опорного знаку (хрест) та опорної точки номер 6 на бетонній поверхні

Модуль AutoCAD Raster Design – це спеціалізований інструментарій для редагування сканованих креслень та перетворення растрових зображень на об'єкти DWG. Дана надбудова буде дуже корисною як архітекторам, дизайнерам, так і інженерам[27].

За допомогою цього модуля у вікні потрібно вибрати інструмент «Raster» – «Correlate» – «RubberSheet», який зображений на рис.3.14.

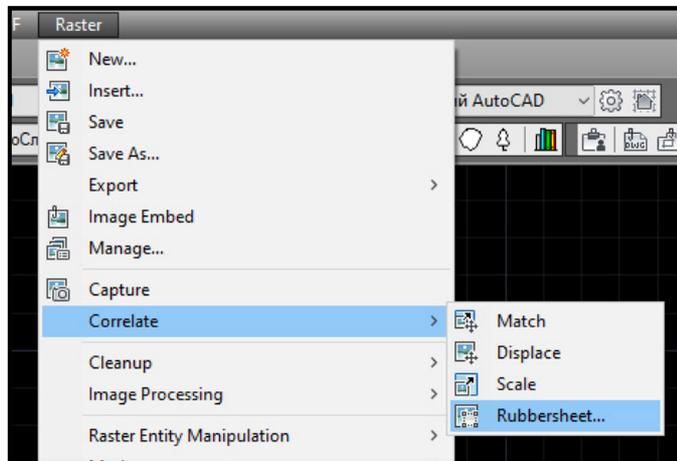


Рис. 3.14. Вікно інструменту

У наступному вікні потрібно вибрати метод триангуляції та перенести маркери на опорні точки за допомогою інструменту «Add Points». Після додавання усіх опорних у нас їх вийшло 13 штук, потрібно натиснути кнопку «ОК» і почнеться процес трансформації, якій приблизно займає близько пів години (дивись рис. 3.15, 3.16). Далі буде відбуватися процес трансформація ортофотоплану у місцеву систему координат УСК-2000 (ідентифікатор МСК-80).

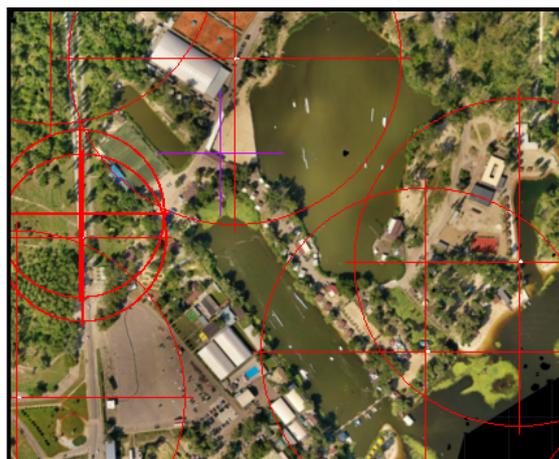


Рис. 3.15. Перенос маркерів на опорні точки ортофотоплану

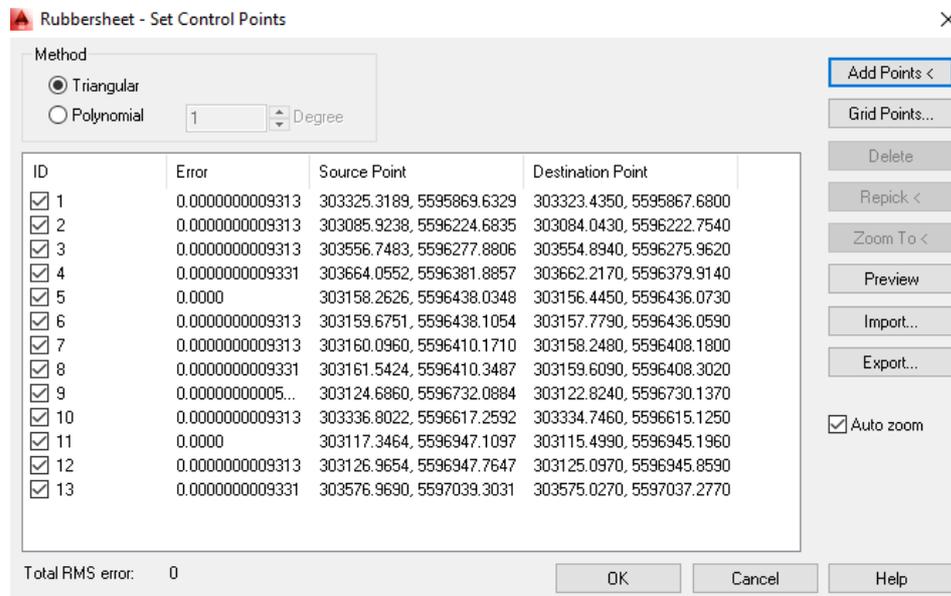


Рис. 3.16. Вікно «RubberSheet»

На рисунку 3.16 можна побачити координати початкових точок та координати точок їх призначення. Також можна побачити середньо квадратичну похибку.

Точність визначення координат в плані цифрового ортотрансформованого знімка вираховувалася за формулами:

$$(3.1)$$

s

$$(3.2)$$

Отже, результат середньоквадратичної похибки (див. рис 3.17) по координаті X становить 6,3 см , а по координаті Y вийшло 10,8 см. Даний результат задовольняє дану роботу.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X GNSS	Y GNSS	X Orto	Y Orto	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
2	5595846,74	303209,95	5595846,73	303210,03	10	-80	100	6400
3	5595847,42	303254,99	5595847,37	303254,98	50	10	2500	100
4	5595884,42	303419,9	5595884,28	303420,19	140	-290	19600	84100
5	5596192,26	303458,6	5596192,17	303458,84	90	-240	8100	57600
6	5596229,79	303381,84	5596229,8	303381,93	-10	-90	100	8100
7	5596233,57	303312,51	5596233,46	303312,61	110	-100	12100	10000
8	5596184,24	303233,25	5596184,21	303233,23	30	20	900	400
9	5596184,69	303204,24	5596184,68	303204,26	10	-20	100	400
10	5596194,63	303165,67	5596194,68	303165,65	-50	20	2500	400
11	5596370,99	303174,69	5596370,95	303174,71	40	-20	1600	400
12	5596385,2	303169,83	5596385,21	303169,94	-10	-110	100	12100
13	5596613,62	303150,67	5596613,65	303150,54	-30	130	900	16900
14	5596590,55	303357,4	5596590,6	303357,38	-50	20	2500	400
15	5596456,95	303651,44	5596456,95	303651,55	0	-110	0	12100
16	5596461,86	303634,86	5596461,73	303634,97	130	-110	16900	12100
17	5596333,79	303171,14	5596333,71	303171,25	80	-110	6400	12100
18	5596349,11	303172,35	5596349,19	303172,31	-80	40	6400	1600
19	5596366,21	303167,44	5596366,17	303167,49	40	-50	1600	2500
20	5596373,6	303160,53	5596373,56	303160,56	40	-30	1600	900
21	5596574,31	303298,47	5596574,26	303298,49	50	-20	2500	400
22	5596570,46	303304,41	5596570,44	303304,48	20	-70	400	4900
23	5596586,46	303322,54	5596586,54	303322,56	-80	-20	6400	400
24	5596605,99	303335,37	5596605,98	303335,38	10	-10	100	100
25	5596644,46	303343,55	5596644,5	303343,61	-40	-60	1600	3600
26	5596739,9	303488,17	5596739,92	303488,36	-20	-190	400	36100
27	5596687,44	303633,21	5596687,39	303633,32	50	-110	2500	12100
28	5596444,13	303624,91	5596444,1	303625,05	30	-140	900	19600
29	5596432,85	303584,42	5596432,96	303584,49	-110	-70	12100	4900
30	5596409,34	303605,91	5596409,34	303606,13	0	-220	0	48400
31	5596404,34	303568,22	5596404,4	303568,16	-60	60	3600	3600
32	5596334,58	303470,6	5596334,57	303470,61	10	-10	100	100
33	5596327,24	303458,57	5596327,25	303458,67	-10	-100	100	10000
34	5596287,16	303511,45	5596287,16	303511,59	0	-140	0	19600
35	5596115,47	303474,3	5596115,38	303474,34	90	-40	8100	1600
36	5596078,43	303415,57	5596078,55	303415,54	-120	30	14400	900
37							137200	404900
38							62,6099	107,5573
39							124,4531	

Рис. 3.17. Зведена таблиця просторових координат із даних трансформованого ортофотоплану та контрольними точками GNSS-спостережень

Після того, як було отримано готовий ортофотоплан з прив'язкою у місцевий системі координат почався процес векторизації об'єктів комбінованим методом з урахуванням пікетів, які були зроблені методом GNNS-спостережень. Всі об'єкти створювалися з урахуванням типу їх геометрії і просторового положення. Так, створювалися об'єкти точкового,

лінійного і полігонального мережі. Отриманий результат, а саме топографічний план масштабом 1:500 можна розглянути у Додатку Г.

Контроль точності

### **3.7. Висновки до розділу**

У ході виконання проекту було вирішено такі завдання: створення нового проекту, додавання знімків у проект, внутрішнє орієнтування та завдання моделі фотоапарата, зовнішнє орієнтування, ортотрансформування, генерування цифрової моделі місцевості, створення ортофотоплана (мозаїки знімків), створення контурів (горизонталей), створення цифрового топографічного плану.

По результату виконаної роботи, можна переконатися у високій якості отриманого результату (ортофотоплана), у процесі фотограмметричної обробки знімків з БПЛА та оцінити якість трансформації зображення.

Таким чином, в результаті вирішення перерахованих вище завдань було створено топографічний план масштабу 1:500 острову Муромець у Деснянському районі м. Києва комбінованим методом.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1. Методика застосування БПЛА в екологічному моніторингу територій

Безпілотні літальні апарати надають небувалі можливості для дистанційного картографування та просторово тимчасового моніторингу.

Виконуючи зйомку з необхідною періодичністю, можна стежити за розвитком різноманітних гідрологічних процесів і виявляти їх наслідки. Автоматизований процес збору та обробки просторових даних забезпечить високу точність результатів.

В даний час технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) за допомогою космічних апаратів і авіації вивчені і застосовуються досить широко. При цьому справжньою революцією для моніторингу та картографування підстильної поверхні можна вважати використання безпілотних літальних апаратів. Удосконалення знімальної апаратури і носіїв корисного навантаження для зйомки підстильної поверхні дозволяє вести ДЗЗ з повітряних куль, дирижаблів, штучних супутників Землі, пілотованих і безпілотних літальних апаратів. Розвиток технологій ДЗЗ став можливим завдяки появі цифрової зйомки і активних сенсорів радарів, лазерних скануючих систем, автоматизації аерокосмічних робіт і процесів обробки даних [28,29].

Безпілотні літальні апарати в різних онтологічних варіаціях (БВС, БАС, БАК, БПЛА) визначені в повітряному кодексі.

Передбачається розробка законодавчих та інших нормативних правових актів, які визначать юридично значущі просторові дані, за винятком космічного сегмента ДЗЗ [30].

Існуючі документи, серед яких «основні положення з аерофотозйомки, виконуваної для створення і оновлення топографічних карт і планів», затверджені Головним управлінням геодезії і картографії при Радміні СРСР ще 22.04.1980 р. вони визначають технічні умови для виконання комплексу

робіт з аерофотозйомки пілотованими повітряними суднами, при цьому не враховуються особливості робіт, де носієм знімальної системи є БПЛА.

Поки не розроблені єдині процедури валідації даних, тому вимірювання, проведені за даними такої аерофотозйомки є непідтвердженими без отримання підтверджених характеристик знімальної системи і трудомісткого контролю, що виконується наземними методами.

Відзначимо, що реєстр не визначив вимог щодо обов'язкової сертифікації безпілотних аерофотозйомочних комплексів або одержуваної продукції. Поки не затверджені спеціальні центри обов'язкової сертифікації програмно апаратних комплексів з безпіотною авіаційною системою. Виділяють три типи процедур добровільної сертифікації:

1) комплекс технічних і програмних засобів безпіотної аерофотозйомки та фотограмметричної обробки, які при збереженні певних умов забезпечать можливість створення ортофотопланів, що задовольняють вимогам точності планів певного масштабу;

2) спеціально ідентифікованої продукції апаратно програмних комплексів, яка відповідатиме вимогам нормативно технічних документів для певного виду робіт;

3) відповідності технології застосування БПЛА певної серії та програмного забезпечення обробки даних вимогам внутрішнього документа компанії для створення ортофотопланів і цифрових моделей місцевості заданого масштабу.

При цьому вимоги до цивільних фахівців, що експлуатують безпілотні авіаційні системи, ще не визначені, так як професійний стандарт «фахівець з експлуатації безпілотних авіаційних систем, що включають в себе одне або кілька безпілотних повітряних суден» ще не схвалений. Розроблений стандарт пропонує отримання достатнього обсягу компетенцій, що забезпечують безпеку польотів, але він недостатній для навчання етичним аспектам,

забезпечення конфіденційності одержуваних даних, а також забезпечення високої якості вирішення прикладного завдання [28,31].

#### **4.1.1. Особливості використання БПЛА в екологічному моніторингу**

Негативні наслідки господарської діяльності та антропогенного впливу на навколишнє середовище для біосфери сьогодні є об'єктивною реальністю. У той же час негативні результати антропогенного впливу в сучасних умовах розвитку людської цивілізації не є неминучими. Багато в чому деградація навколишнього середовища пов'язана з нераціональним використанням природних ресурсів, низьким рівнем розвитку і подальшого впровадження сучасних безвідходних технологій, помилками в екологічній і технічній політиці, відсутністю знань про можливі наслідки антропогенного впливу на екосистему [33].

В умовах великих та важкодоступних територій, а також в складних кліматичних умовах, застосування безпілотних систем єдиний засіб ефективно контролювати стан навколишнього середовища.

Використання БПЛА може виступати в якості загального джерела інформації для різних підрозділів на конкретній території, а різноманітність передач корисного навантаження дозволить отримувати інформацію про різні аспекти одних і тих же процесів. Безпілотні літальні апарати здатні вирішувати наступні завдання:

- моніторинг лісових пожеж;
- моніторинг опустелювання та ерозії ґрунтів;
- моніторинг динаміки повеней;
- моніторинг атмосферних викидів.

На додаток до цих завдань можна здійснювати моніторинг об'єктів з високим радіаційним фоном. Наприклад, під час аварії на АЕС "Фукусіма 1" у березні 2011 року для контролю поширення радіаційного фону використовувалися безпілотники авіаційного типу. Також в ході цих заходів

безпілотники показали свою ефективність як засіб координації дій по боротьбі з аваріями такого роду. Як відомо, екологічний моніторинг це багаторівнева структура, що складається з наступних рівнів: детального, локального, національного та глобального. Застосування БПЛА доцільно як для безперервного моніторингу невеликих ділянок земної поверхні, тобто для детального рівня, так і для комбінованого використання декількох комплексів та інтерполяції даних з цих комплексів, а також для локального рівня [32].

#### **4.1.2. Обстеження лісових насаджень та полів за допомогою БПЛА**

Попередні дослідження показали, що БПЛА можуть бути використані для вирішення різноманітних завдань. В Європейському Союзі використання БПЛА для екологічного моніторингу лісів та полів є звичайним явищем, а в Україні установи наукового напрямку тільки завершують перші спроби у дослідженні роботи цього сучасного обладнання. За допомогою використання БПЛА можна отримувати актуальні матеріали про ліси [33].

Літом 2018 р. були проведені випробування польоту БПЛА над певними лісовими масивами України. Аерофото і відеозйомка лісових масивів і площ лісових культур. Робоча висота польоту до 1200 метрів. Отримані відеоматеріали завантажувались потім на комп'ютер та оброблялись за допомогою відповідної програми. Вважається, що кращою для таких дослідів є погода без вітру і хмар в більш освітленій частині дня.

Сьогодні зйомка ведеться камерами, які можуть знімати у видимому спектрі, але з розвитком науки прогнозується, що в найближчому майбутньому з'явиться камера з такими характеристиками, яка також дозволить вести зйомку в інфрачервоному діапазоні спектра. Це дозволяє проводити більш детальне вивчення рослинних спільнот за участю рослинних індексів, вивчати вегетативну активність трав'янистих екосистем, стан лісових масивів і досліджувати інші аспекти (Рис.5.1).

В ході випробувань отримані зображення з повітря поверх дерев по заданому напрямку у видимому діапазоні і створювали на їх основі ортофотознімки (лісові карти) [34]. Ортофотоплан у видимому діапазоні може бути використаний для візуальної оцінки місця розташування лісових масивів, вимірювання площ, виявлення насаджень з погіршеним станом, слідів діяльності людини і тварин,



Рис. 4.1. Фотознімок отриманий з бортової камери БПЛА з фіксацією усохлого дерева

Отримані зображення дозволяють розрахувати NDVI та кількісно оцінити рослинний покрив, зокрема продуктивність лісів та такі основні показники насаджень, як висота, діаметр, розмір крони, повнота.

Також отримані з БПЛА зображення дозволяють оцінити лісокультурні і лісогосподарські роботи, тобто взагалі це: якість обробки ґрунту під лісові культури, ручний і механізований догляд за лісовими культурами (засмічення), стан лісових культур (густота, збереження), захисні смуги і протипожежні мінералізовані смуги, контури зрубів і їх заростання, гірські хребти (Рис. 5.1).

Дослідне застосування БПЛА у дослідному лісництві державного підприємства "СФ Укрнділха", а також аналіз літературних джерел свідчать

про високу ефективність використання безпілотних літальних апаратів при проведенні наукових досліджень. Адже БПЛА дає можливість систематично проводити якісні аерофотозйомки експериментальних лісових об'єктів та отримувати якісні об'єктивні дані, що суттєво впливає на рівень результатів досліджень.

Неякісна ефективність засобів управління при великій площі полів це проблема, з якою довелося зіткнутися. Звичайне візуальне спостереження це організована щоденна поїздка в поле для огляду посівів, не може дати повної і об'єктивної картини. До недавнього часу супутникові знімки вважалися найбільш досконалим видом моніторингу.

Але ці супутникові знімки коштують досить дорого, не мають найвищої роздільної здатності і не дуже швидкі, тому що їх потрібно замовляти заздалегідь. А використання БПЛА для моніторингу полів дозволяє швидко отримувати дані, та вони є значно дешевше (Рис.5.2). Чіткі дані дозволяють детально відстежувати зростання врожаю, виявляти всі негативні риси і своєчасно вживати термінові необхідні заходи щодо усунення виявлених проблем.



Рис. 4.2. Сканування поля за допомогою БПЛА з сенсором Parrot Sequoia

Існуючі картографічні дані втрачають свою актуальність. Та наразі використання БПЛА для картування територій вважається більш економічним та швидким методом за допомогою аерознімання територій з метою складання

ортофотопланів [35]. Оперативне внесення в електронні карти змін, які відбулися впродовж року, дозволить значно прискорити і покращити матеріали, які складають основу безперервного лісовпорядкування БПЛА мають додаткові переваги перед традиційними повітряними і космічними зльотами: точність, мобільність і висока ефективність. Отримувані оновлені картографічні дані допомагають ефективно планувати і виконувати лісогосподарські заходи [36].

#### **4.1.3. Використання БПЛА у моніторингу акваторій України**

Невеликі і легкі безпілотники постачають дані, які сприяють кращому розумінню просторових і тимчасових процесів на водозборах. Застосування БПЛА особливо виправдано для визначення динаміки швидко розвиваються процесів. У місцях, де характерні повені, активна ерозія, скорочення лісового покриву.

Своєчасне виявлення замулення і засмічення водойм, обвалення берегів дозволить швидко і з мінімальними витратами усунути небажані процеси. А контроль льодової обстановки і сніготанення допоможе прогнозувати обсяг стоку і запобігти можливим паводкам і повені [31].

При використанні БПЛА спостереження здійснюється не тільки за водними об'єктами, а й за прилеглою береговою лінією. Інформація про зони затоплення, що отримується з БПЛА, дозволяє швидко оцінювати ситуацію і прогнозувати її розвиток. БПЛА дозволяють виявляти несанкціоновані звалища або викиди промислових відходів.

Найважливіша перевага БПЛА в їх економічній ефективності та оперативності. Можна в лічені години виконати повітряні зйомки навіть у важких умовах, де застосування звичайної авіації утруднено або неможливо.

Модульна камера з функцією оптичної стабілізації зображення з 30-ти кратним оптичним збільшенням дає можливість максимально точно визначати рибальські мережі під водою.



Рис. 4.3. Момент зйомки паводків за допомогою БПЛА

Регулярний моніторинг водних ресурсів з БПЛА в разі паводку або повені дозволить визначити зони затоплення, виявити постраждалих, оцінити збиток і спланувати дії з ліквідації наслідків, виявляти дії нелегальних рибалок. Якщо причиною повені є льодові затори, детальна зйомка допоможе знайти найбільш оптимальні місця установки вибухових зарядів для їх усунення. Дані з повітря будуть корисні при ліквідації наслідків екологічних катастроф. По знімках можна визначити всі ділянки забруднень, а за допомогою спостереження в реальному часі координувати роботу наземних груп.

Можна точніше визначати напрямок і швидкість стоку, обчислювати сумарний стік, розмежовувати вододіли і створювати мережі водотоків. Точні тривимірні просторові дані допоможуть моделювати різні зовнішні умови, процеси перенесення зважених частинок або забруднюючих речовин.

#### **4.2. Висновки до розділу**

БПЛА дає змогу стежити за розвитком різноманітних природніх процесів та виявляти їх наслідки. За допомогою отриманих зображень з БПЛА з'являється можливість оцінити лісокультурні та лісгосподарські роботи, оновлювати карти, виявляти осередки пожеж та засмічення територій, здійснювати нагляд за водокористувачами, водоспоживачами, береговими лініями та несанкціонованим використанням водойм і водоохоронних зон.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Темою даного дипломного проекту є оцінка точності цифрових картографічних матеріалів, створених за результатами аерознімання з безпілотних літальних апаратів.

Незважаючи на широке використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Україні, немає активних вжитих заходів щодо регулювання використання безпілотників. Єдине спеціальне правило, що застосовується до безпілотників знайдені в Положенні про використання повітряного простору України, який вимагає тих, хто використовує дрони для аерофотозйомки, повинні отримувати спеціальний дозвіл на польоти БПЛА з Державного повітряного департаменту та координувати свої польоти з Генеральним Штабом Збройних Сил.

У розділі розглянуто робоче місце оператора, який працює за ПК та обробляє інформацію, що надходить.

Безпечна робота за комп'ютером передбачає виконання ряду правил, недотримання яких може призвести до небажаних наслідків, тому важливим є визначити порядок роботи за комп'ютером інженера-програміста (оператора).

### **5.1. Вимоги до організації робочого місця користувача персонального комп'ютера (ПК). Опис основних шкідливих факторів.**

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74(1999) «Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація», основні шкідливі фактори, що діють на людину при роботі за комп'ютером, належать:

- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- нерівномірний розподіл яскравості у полі зору (втома очей, навантаження на зір);
- відсутність або нестача природного світла;

- підвищені статичні та динамічні навантаження;
- монотонність праці;
- нервово-емоційне навантаження.

### **5.1.1. Забезпечення необхідного мікроклімату у приміщеннях з ПК**

У виробничих приміщеннях з ПК параметри мікроклімату повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007 – 98 “Загальні санітарно-гігієнічні норми до повітря робочої зони” та “Санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень” № 4088-86 для категорій робіт 1а. Величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря у робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати оптимальним значенням для категорії 1а-1б, при строгому дотриманні параметрів відносної вологості (55-56%). Температура навколишнього середовища повинна бути в межах 180-220С, а швидкість руху повітря – 0,1-0,2 м/с. Ефективним засобом створення комфортного мікроклімату для користувачів ПК є кондинціювання повітря, які забезпечують постійність параметрів мікроклімату незалежно від зовнішніх умов.

Користувачі персональних комп'ютерів належать до групи 1а – легкі роботи. Відповідно до цього і до ДСанПіН 3.3.3.007-98 вибираємо необхідні метеорологічні умови.

В приміщенні встановлено обладнання системи водяного опалення, тепловіддача якого в зимовий період року є недостатня. Доцільним є проведення ущільнення конструкцій вікон і дверей, щоб припинити вплив тепла. Необхідно встановити ефективну систему вентиляції, яка повинна забезпечувати обмін повітря без зміни температурного режиму, а також не створювати зайвого шуму при своєму функціонуванні.

### 5.1.2. Освітлення приміщень і робочих місць ПК

Приміщення з ПК повинні мати природне та штучне освітлення. При незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, можлива поява короткозорості, швидка стомленість.

Система освітлення повинна відповідати таким вимогам:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення, фоном, контрастом об'єкту і фону;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в полі зору не повинно бути прямих і відбитих відблисків;
- величина освітленості повинна бути постійною в часі;
- слід обирати оптимальну спрямованість світлового потоку і необхідний склад світла.

Природне освітлення здійснюється через бокові світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) відповідно з ДБН В. 2.5.28:2018 “Природне і штучне освітлення”, де оцінюються розміри віконних прорізів, вид застосування і рам, їх забруднення, а саме здатність системи природного освітлення пропускати світло.

Необхідно проводити очистку застосованих світлових прорізів не рідше ніж 2-4 рази на рік, світильників – 4-12 рази на рік.

У приміщеннях з ПК необхідно обмежувати нерівномірність розподілення яскравості у полі зору працюючих.

Для місцевого освітлення застосування світильників без розсіювачів та екрануючих рамок заборонено. Штучне освітлення повинно забезпечувати на робочих місцях з ПК освітленість не нижче 400-500 лк. Як джерело світла при

штучному освітленні рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи з індексом кольоропередачі не менше 70. Допускається застосування ламп розжарювання в світильниках.

Величина коефіцієнту пульсації світла не повинна перевищувати 5%, що забезпечується застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального та місцевого освітлення з високочастотними пускорелюючими апаратами (ВЧ ПРА). За умови відсутності ВЧ ПРА слід включати лампи багатолампових світильників загального освітлення на різні фази трьохфазної мережі та використовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. Необхідно забезпечити відповідне оформлення інтер'єру, тому що давати відблиски на екранах і сліпити працюючих можуть не тільки вікна, але інші поверхні великої яскравості, у тому числі: стеля, стіни, поверхні столів, шаф і навіть одяг персоналу. Світлий і особливо блискучий одяг працюючих вкрай небажаний. Коефіцієнти відбиття робочого стола, корпусу та клавіатури обчислювальної техніки необхідно передбачати 0,2-0,5; стелі – 0,6-0,7; стін – 0,2-0,5; підлоги – 0,1-0,2; шаф, стелажів – 0,25-0,35. Всі матеріали, що використовуються для оздоблення приміщення повинні бути матовими.

Виконання дипломної роботи проводилося із застосуванням ПЕОМ і відповідало четвертому розряду зорової діяльності (середня точність від 0,5 до 1 мм) згідно з ДБН В. 2.5.28:2018. Нормована освітленість на робочому місці для даного розряду становить 400 – 500лк. Для забезпечення цієї норми використовують штучне освітлення (газорозрядні лампи).

### **5.1.3. Забезпечення захисту від шуму**

Одним з найбільш поширених факторів зовнішнього середовища, що шкідливо впливає на організм людини являється шум.

Будь-яке джерело шуму характеризується перш за все звуковою потужністю. Потужність джерела  $P$  - це загальна кількість звукової енергії, випромінюваної джерелом шуму в навколишнє середовище за одиницю часу.

Шум шкідливо впливає на організм і понижує продуктивність праці. Рівень звукового тиску по відношенню до порогу чутності  $L = 120-130$  дБ відповідає порогу больового відчуття. Звуки, які перевищують за своїм рівнем цю межу, можуть викликати болі і пошкодження слухового апарату людини. Шум створює значні навантаження на нервову систему людини, спричинює психологічний вплив.

Джерелами шуму в машинному залі являються механічні, електромеханічні пристрої (принтери, плотери та інші). Людина, що працює при шумі звикає до нього, але тривала дія сильного шуму викликає загальну втому, може привести до погіршення слуху, а інколи і до глухоти, порушується процес травлення, виникає зміна об'єму внутрішніх органів. Ці шкідливі наслідки шуму тим більші, чим сильніший шум і тривалість його дії. Таким чином, шум на робочому місці не повинен перевищувати допустимих рівнів, значення яких приведені в ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Джерелами шуму при роботі з ПК є пересувні механічні частини принтера і вентилятори ПК. Шум, що створюється працюючими ПК, яка забезпечує мікромасштабний шум, постійним з періодичним посиленням при роботі принтерів. Тому шум повинен оцінюватися загальним рівнем звукового тиску по частотному корегуванню "А" та вимірюватися в дБа.

Допустимі рівні шуму, відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, у приміщеннях, де працюють програмісти і оператори ПК, не повинні перевищувати 50 дБа; в приміщеннях, де працюють ІТП, які виконують лабораторний аналітичний та вимірювальний контроль – 60 дБа; у приміщеннях операторів ЕОМ – 65 дБа.

Зниження рівня шуму здійснюється такими методами:

- заміною матричних голчатих принтерів струменевими і лазерними принтерами, які забезпечують при роботі значно менший рівень звукового тиску;

- застосування принтерів колективного користування розташованих на відстані від більшості робочих місць користувачів ПК;
- зміною напрямку поширення шуму в протилежну сторону від робочого місця.

Санітарні норми допустимого рівня шуму:

- для програмістів і операторів - до 50 дБА;
- для інженерно-технічних працівників - до 60 дБА.

Захист від електромагнітних і електростатичних полів ПК на ЕПТ є джерелами електромагнітних та електростатичних полів. Енергія яка випромінюється повністю поглинається склом екрану. Навколо працюючого монітора виникають електромагнітні поля низької частоти (від 5 Гц до 400 кГц).

Користувачам ПК рекомендовано носити одяг з природних матеріалів або з комбінованих. Для зняття електростатичних зарядів з одяжі слід використовувати антистатика побутового призначення.

Для небезпеки ураження людини електричним струмом необхідно вжити такі заходи:

- повинно бути захисне заземлення;
- повинно бути захисне занулення;
- повинно бути захисне відключення.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення для комп'ютерного класу, лабораторії, обчислювального центру відноситься до категорії В. У такій лабораторії передбачена установка типу ОУ, тому що є наявність електричного струму.

## **5.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів.**

Одним з головних недоліків, що може бути при роботі за ПК, це недостатній рівень освітлення.

Розрахунок загального штучного освітлення проведено за методом коефіцієнту використання, який дозволяє знайти світловий потік ламп, необхідно для досягнення заданої освітленості з врахуванням світла, відбитого стінами, стелею і підлогою:

$$F_s = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{h}, \text{ лм.} \quad (5.1)$$

де  $F_s$  – загальний світловий потік, (лм);

$E_n$  – нормована освітленість, (лм) (при 4-ому розряді зорової діяльності 450 лк);

$S$  – площа освітлюваного приміщення, (м<sup>2</sup>);

$k$  – коефіцієнт запасу (для люмінесцентних ламп),  $k = 1,5$ ;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної),  $z = 1,1$ ;

$h$  – коефіцієнт використання світлового потоку, який рівний відношенню потоку який надається на “розрахункову” поверхню до сумарного потоку всіх ламп і визначається за показником приміщення, типом світильника і коефіцієнтом відбиття стін, стелі та підлоги.

Коефіцієнт  $h$  вибирається з таблиць за розрахованим значенням коефіцієнта  $I$ :

$$I = \frac{a \cdot b}{H(a + b)}, \quad (5.2)$$

де  $a$  – ширина приміщення, = 5 м;

$b$  – довжина приміщення, 9 м;

$H$  – відстань від світильника до робочого столу.

$$I = \frac{5 \cdot 9}{2,5 \cdot (5 + 9)} \approx 1,3 \quad (5.3)$$

Для світильника типу ОДО при  $I = 1,3$ ,  $r$  стелі дорівнює 50%,  $r$  стіни дорівнює 30%,  $r$  підлоги дорівнює 10%, значення коефіцієнта  $h = 44\%$ .

Тоді світловий потік буде дорівнювати:

$$F_s = \frac{450 \cdot 45 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,44} = 75938 \text{ лм.} \quad (5.4)$$

Кількість ламп у приміщенні визначається за формулою:

$$n = \frac{F_S}{F_E}, \text{шт.} \quad (5.5)$$

де  $F_E$  – світловий потік однієї лампи (для лампи типу ЛД 65-4 світловий потік  $F_E=3570$  лм). При чому заокруглюється у більшу сторону:

$$n = \frac{75938}{3570} = 21.2 \approx 22 \text{ ламп.} \quad (5.6)$$

Оскільки у світильнику типу ОДО використовується по дві лампи, ЛД то необхідно 10 (десять) світильників. Переконаємось, що вибрана кількість ламп, забезпечує освітленість і задовольняє вимоги ДБН В. 2.5.28:2018. Для цього визначимо фактичну освітленість:

$$E_H = \frac{F_E \cdot n \cdot h}{S \cdot k \cdot z} = 465, \text{ лм.} \quad (5.7)$$

Висновок: Оскільки розрахована нормована освітленість є більшою від допустимої нормованої освітленості, то вимога задовольняється. При розміщенні світильників виконуються наступні умови:

- дисплей ПЕОМ не розташовується безпосередньо під світильником або впритул до нього;
- освітленість робочого місця не перевищує 2/3 нормальної освітленості приміщення;
- стіна позаду дисплея освітлюється приблизно так само, як і його екран.
- розміщення світильників на стелі над проходом між рядами комп'ютерів дозволяє задовольнити ці умови.

### 5.3. Пожежна безпека

Приміщення з ПЕОМ по пожежній небезпеці відносяться до категорії пожежонебезпечних (категорія “В” (ДСТУ Б В.1.-36:2016)) і характеризується тим, що в приміщенні знаходяться негорючі речовини і матеріали в холодному

стані. Пожежа на виробництві може виникнути внаслідок причин неелектричного і електричного характеру.

До причин неелектричного характеру відносять:

- несправності виробничого обладнання і недотримання технологічного процесу;
- халатного і необережного поводження з вогнем (куріння, залишання без нагляду нагрівальних приладів);
- неправильне встановлення і несправність вентиляційної системи;
- самозаймання і самозгорання речовин.

До причин електричного характеру відносяться:

- коротке замикання;
- перевантаження проводки;
- великий перехідний опір;
- іскріння;
- статична електроенергія.

Пожежно-профілактичні заходи розробляються та виконуються не окремо, а в тісному взаємозв'язку з усіма проектними, будівельними та експлуатаційними роботами. Приміщення повинно забезпечуватись протипожежним інвентарем.

Проходи і вихід не повинні загромаджуватися. У випадку виникнення пожежі перш за все необхідно відключити джерело живлення.

Пожежа може виникнути внаслідок причин електричного і неелектричного характеру. Одна з причин електричного характеру – коротке замикання. Струми короткого замикання достатньо великих величин та супроводжуючі їх теплові та динамічні впливи можуть викликати руйнування електрообладнання та ізоляції.

Профілактичними заходами від короткого замикання є правильний вибір провідників, деталей і апаратури, своєчасні профілактичні огляди, ремонти. Перевантаження провідників струмами, що перевищують допустимі

по нормах значення. Для уникнення перевантаження підбирають правильні за значенням поперечного перерізу провідників та контроль за виконанням нормативів по навантаженню, згідно значень, наведених в документації по обладнанню.

Дія дуги та іскріння. Може виникнути в місцях підключення обладнання та механічного під'єднання струмонесучих частин. Для уникнення нещільних з'єднань необхідна їх перевірка під час проведення профілактичних робіт.

Для ліквідації невеликих пожеж можна використовувати деякі порошкові матеріали (хлориди лужних металів, соду, пісок і т.п.).

Виходячи з норм пожежної безпеки [див. "Справочник по ТБ" П.А. Долина], для машинного залу площею 100 м кв. (для нашого випадку біля 40 м кв.) потрібні наступні первинні засоби гасіння пожежі:

- один вуглекислотний вогнегасник типу ОУ-5 чи ОУ-8, за допомогою якого можна гасити загоряння різних матеріалів і установок наругою до 1000 В;
- один хімпіновий ОХП-10 чи повітро-піновий вогнегасник ОВП-5 чи ОВП-10, з допомогою якого можна гасити тверді матеріали і горючі рідини (крім установок під напругою).

#### **5.4. Інструкція з охорони праці для оператора ПК**

##### **Вимоги безпеки перед початком роботи:**

Перевірити справність обслуговуваної апаратури;

перевірити освітленість робочого місця;

перевірити правильність розташування екрану (на відстані 600-700 мм, але не ближче 500 мм);

клавіатуру розташувати на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, зверненого до користувача або на спеціальній регульованій по висоті поверхні, окремій від основного столу;

апаратура повинна знаходитися на відстані не менше 1 м від стіни.

### **Вимоги безпеки під час роботи:**

При 8-ми годинній робочій зміні основною перервою є перерва на обід. Додатково при роботі на ЕОМ вводяться регламентовані перерви: через 2 години від початку робочої зміни і через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожний;

тривалість безперервної роботи без регламентованої перерви не повинна перевищувати дві години;

якщо монітор не має захисту від випромінювання, використовують захисний екран. Випромінювання монітора убік протилежну екрану може бути значно більше, тому не можна його задню частину обертати у бік людей;

забороняється працювати за комп'ютером, якщо в нього виявлено несправність.

### **Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:**

При виявленні несправності комп'ютера або появи незвичайних звуків в процесі роботи слід його вимкнути;

забороняється чіпати роз'єми кабелів і торкатися до живлячих дротів будь - якої апаратури;

не можна працювати при поганому освітленні і поганому самопочутті;

забороняється працювати з вологими руками;

для усунення наслідків стрибків напруги в мережі, комп'ютер повинен бути підключений до електромережі через стабілізатор напруги (безперебійне джерело живлення).

### **Вимоги безпеки після закінчення роботи:**

Не вимикати активне обладнання (воно працює безперервно);

перевірити правильність виконання функцій активним обладнанням;  
про всі зауваження і схиби по охороні праці і техніці безпеки зробити запис у журналі і доповісти своєму безпосередньому керівникові;  
вимикання устаткування і проводити його технічне обслуговування необхідно робити відповідно до інструкцій.

### **5.5. Висновки до розділу**

Таким чином, враховуючи основні функції зорового аналізатора, умови зорової роботи можна оцінити за трьома основними показниками: кутковими розмірами, які розрізняють об'єкти, освітленість робочого місця і контрастності об'єкта розпізнавання з фоном. Ці показники є основою гігієнічної регламентації освітлення на робочому місці, викладеної у відповідних офіційних документах (ДБН В.2.5- 28:2018 і галузеві стандарти на природне і штучне освітлення).

Тривалість безперервної роботи з екранами без регламентованої перерви не повинна перевищувати однієї години. Загальний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду і категорії трудової діяльності з використанням ПК.

Під час регульованих перерв доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ з метою зниження нервово-емоційної напруги, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії і гіпокінезії, попередження розвитку статичного стомлення.

Відповідальність за недотримання вимог законодавства до умов праці несе роботодавець, який покладає ці функції на службу охорони праці організації або на фахівця з охорони праці, що залучається на договірній основі.

## ВИСНОВКИ

На підставі виконаних досліджень був створений топографічний план місцевості острова Муромець, який знаходиться у Деснянському районі міста Києва. У процесі виконання поставленої задачі, був створений ортофотоплан, який задовольняє вимогам Інструкції з топографічного знімання.

У процесі досягнення поставленої мети виконали такі завдання:

- розглянули принципи інженерно-геодезичних вишукувань;
- вивчили теоретичну частину АФЗ із застосуванням БПЛА;
- визначили можливості геодезичних квадрокоптерів, а також спосіб отримання якісних аерофотознімків, використовуючи квадрокоптер;
- вибрали програмне забезпечення, яке відповідає нашим вимогам щодо обробки знімків;

Сьогодні можна без перебільшення сказати, що квадрокоптер є самим стрімким і ефективним методом аерознімання. До того ж, на відміну від зйомки з пілотованих літальних апаратів, використання дронів набагато дешевше, а також дає можливість отримувати якісніший результат. Основні переваги квадрокоптерів для геодезії: скорочення тимчасових витрат, спрощення проведення робіт, здатність зйомки у важкодоступних місцях.

Підбиваючи підсумки вищесказаного, БПЛА значно спрощує роботу геодезиста. Але проблема в тому, що в даний момент не існує нормативної методичної документації, здатної передати весь процес зйомки та обробки результату.

За результатами роботи стає очевидним, що використання квадрокоптерів у проведенні інженерно-геодезичних пошуків – це вже не технології майбутнього, а технології сьогодення. Відповідно проблема

відсутності нормативної документації на цю тему була значною пропуском у створенні робіт.

Нині використання квадрокоптерів у геодезії поступово стає повсякденною практикою. Дрони використовуються для побудови зображень, створення карт та просторового аналізу в таких областях як топографічна АФЗ місцевості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павлов, В. І. Фотограмметрія. Теорія одиночного знімка та стереоскопічної пари знімків: Навч. посібник/В. І. Павлов. - 2-ге вид., Перероб. та дод. - СПб. : Санкт-Петербурзький гірничий ін-т (технічний ун-т), 2006. - С. 39.
2. Інструкція з топографічних зйомок у масштабах 1:10000 та 1:25000. Польові роботи. - М.: Надра, 1978. - 80 с.
3. Інструкція з топографічної зйомки в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 ГКІНП-02-033-82. - М.: Надра, 1982. - 156 с.
4. Міхеева, А. А. Аналіз вимог до виконання робіт з аерофотозйомки / А. А. Міхеева, М. А. Напрієнкова // Вісник Полоцького державного ун-ту. Серія F: Будівництво. Прикладні науки. - 2008. - № 6. - С. 201-206.
5. Усов Д.В., Мураєва М. А., Сенюшкін Н.С., Ямалієв Р. Р. Особливості класифікації БПЛА літакового типу // Молодий учений, 2010 № 11 (22)
6. Глотов В. Аналіз сучасних методів зйомання та опрацювання великомасштабних планш В. Глотов, А. Гуніна //Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. - 2014. - Вип. II (28). - С. 65-70.
7. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електронний ресурс].[Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>]
8. Обзор квадрокоптера DJI Mavic 2 Pro [Електронний ресурс]. [Режим доступу: <https://3dnews.ru/934261>]
9. Повітряний кодекс України: чинне законодавство зі змінами та допов. станом на 5 січ. 2017 року: (ОФІЦ. ТЕКСТ). – К.: ПАЛИВОДА А.В., 2017. – 108 с.

10. Про затвердження Авіаційних правил України, Частина 47 «Правила реєстрації цивільних повітряних суден в Україні» : наказ Міністерства інфраструктури України від 25.10.2012 р. № 636 / Офіційний вісник України. – 2012. – № 93. – 400 с
11. Про затвердження Положення про використання повітряного простору України : постанова Кабінету Міністрів України від 06.12.2017 № 954 / Офіційний вісник України. – 2017. – № 101. – 172 с.
12. Згурець С. Безпілотні будні України / С. Згурець, І. Федик. – 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://defence-ua.com/index.php/statti/2240-bezpilotni-budni-ukrayiny>
13. Усов Д.В., Мураєва М. А., Сенюшкін Н.С., Ямалієв Р. Р. Особливості класифікації БПЛА літакового типу // Молодий учений, 2010 № 11 (22)
14. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008.
15. Інтернет ресурс: [refpin.ru/](http://refpin.ru/). [Режим доступу: [http://refpin.ru/ref\\_polbewmeraty.html/](http://refpin.ru/ref_polbewmeraty.html/)]
16. Порядок загальнодержавного топографічного і тематичного картографування.[Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text>]
17. Порядок топографічної зйомки.[Режим доступу: [http://utgk.org.ua/wp-content/uploads/1\\_2020\\_11\\_21.pdf](http://utgk.org.ua/wp-content/uploads/1_2020_11_21.pdf)]
18. Звіт з науково-практичної конференції та семінару на тему: «Використання аерофотозйомки з БЛА в різних областях» [Електронний ресурс] - режим доступу: <http://www.miiigaik.ru/novosti/novosti/2015/04/06/1050/>
19. Инструкция из фотограмметрических работ при создании цифровых топографических карт и планов ГНТА -02-036-02. Москва, ЦНИИГАИК, 2002.

20. О.Л. Дорожинський, Р. Тукай Міністерство освіти і науки України Національний університет «Львівська політехніка» Фотограмметрія – 2008. -181с
21. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. - М.: УПП "Репрографія" МИИГАиК, 2008. - 160 с.
22. Дорожинський О Л, Тукай Р. Д 692 Фотограмметрія: Підручник. - Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. - 332 с.
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 / І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 75 с.
24. Купріянич І.П. К92 Фотограмметрія та дистанційне зондування: навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закл. // І.П. Купріянич, Є.В. Бутенко. К.: МВЦ «Медінформ», 2013. 392 с.
25. Назаров, А. С. Н19 Фотограмметрия : учеб. пособие для студентов вузов / А. С. Назаров. - Мн.: ТетраСистемс, 2006. - 368 с.
26. Цифровая стереоскопическая модель местности. Книжников Ю .Ф .. Кравцова В.П., Бачдина Е.А., Гельман Р.Н., Зинчук //./ ./, Золотарев Е.А., Лабутина И.А., Харьковец Е.Г., Коцеруба А.Д. - Под ред. Ю.Ф. Книжникова. - М.: Научный мир, 2004. -244 с.
27. Возможности AutoCAD Raster Design [Електронний ресурс] [Режим доступу:<https://dit.urfu.ru/soft/raster-design-2019/>]
28. Гребеніков А. Г., Мялиця А. К., Парфенюк В. В. Загальні види і характеристики безпілотних літальних апаратів: справ, посібник. Харків. 2008. 377 с.
29. Зосимович М. А. Безпілотники для екологічного моніторингу. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 484 с.

30. Володимир Зінченко. Використання даних ДЗЗ. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 108 с.
31. Комягін С. І. Електромагнітна стійкість безпілотних літальних апаратів. М.: Красанд. 2015. 432 с.
32. Баскаков А. І., Жутяєва Т. С., Лукашенко Ю. І. Локаційні методи дослідження об'єктів і середовищ. М.: Академія. 2011. 384 с.
33. Никифоров А. А. Аналіз зарубіжних безпілотних літальних апаратів / Никифоров А. А., Мунімаєв В. А. СПб.: Санкт-Петербурзька лісотехнічна академія. 2010. 3 с.
34. Федотов Г. А. Інженерна геодезія. Підручник. М.: Інфра-М. 2016. 480 с.
35. Шовенгерт Р. А. Дистанційне зондування. Моделі та методи обробки зображень. М.: Техносфера. 2010. 560 с.
36. Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів / Триснюк В. М. [та ін.] / Сучасні інформаційні системи Advanced Information Systems. 2018. Т. 2, № 4.

# ДОДАТКИ



ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ (КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)

ДЕПАРТАМЕНТ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ

**КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ЗЕМЕЛЬНИХ ВІДНОСИН»  
(КП КІЗВ)**

вул. Хрещатик, 32-а, м. Київ, 01001; тел: +38 044 235-17-75; e-mail: office@kizv.gov.ua; ЄДРПОУ 32348604

**Витяг  
з каталогу координат пунктів міської геодезичної мережі м. Києва  
у місцевій системі координат УСК-2000  
(ідентифікатор МСК-80)**

Назва пункту	Трапеція	Клас, розряд	Тип знаку	Тип центру	X	Y	H
0735-3714 (СП-1, Білий)	0735	4 клас	грунтовий знак	6 гр	5596698.489	307522.984	98.332
0735-7326	0735	1 розряд	грунтовий знак	1 гр	5597470.323	307104.562	100.687

Витяг сформовано ІАС «Електронний сервіс МГМ» (<https://mgm.kyivland.gov.ua/>) 16.02.2021 р.



ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ (КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)

ДЕПАРТАМЕНТ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ

**КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
«КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ЗЕМЕЛЬНИХ ВІДНОСИН»  
(КП КІЗВ)**

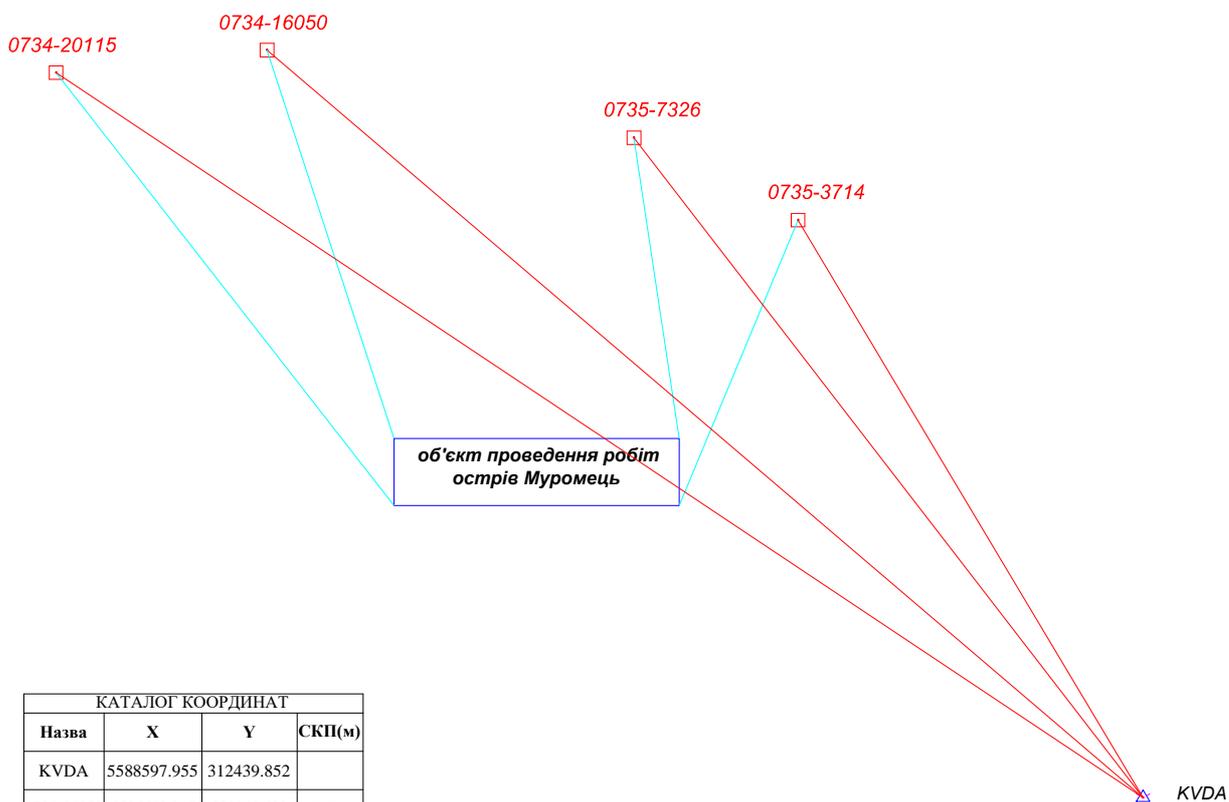
вул. Хрещатик, 32-а, м. Київ, 01001; тел: +38 044 235-17-75; e-mail: office@kizv.gov.ua; ЄДРПОУ 32348604

**Витяг  
з каталогу координат пунктів міської геодезичної мережі м. Києва  
у місцевій системі координат УСК-2000  
(ідентифікатор МСК-80)**

Назва пункту	Трапеція	Клас, розряд	Тип знаку	Тип центру	X	Y	H
0734-16050 (СП-2, Оболонь)	0734	4 клас	грунтовий знак	5 гр	5596642.065	301140.409	99.89
0734-20115	0734	1 розряд	грунтовий знак	1 гр	5597505.955	300654.041	99.771

Витяг сформовано ІАС «Електронний сервіс МГМ» (<https://mgm.kyivland.gov.ua/>) 16.02.2021 р.

**ПРОТОКОЛ ОБРОБКИ GNSS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ**  
(Режим Real Time Kinematic)



КАТАЛОГ КООРДИНАТ			
Назва	X	Y	СКП(м)
KVDA	5588597.955	312439.852	
0734-16050	5596642.065	301140.409	0.004
0734-20115	5597505.955	300654.041	0.004
0735-3714	5596698.489	307522.984	0.003
0735-7326	5597470.323	307104.562	0.002

Одиниці лінійних вимірів: Метри  
Проекція: USK 2000-MSK80  
Datum: ETRS-89\_USK2000  
Geoid: EGM2008-ukr

△ KVDA - постійно діюча базова  
станція GNSS-спостережень  
(мережа «System Solution»)

□ 0735-3714 - пункти МГМ

Додаток Г  
топографічний план  
в масштабі 1:500



# Додаток Д ортофотоплан місцевості

