

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
д. ф. – м. н., професор кафедри  
Железняк О.О.  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»  
ЗА ОПП «ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

**Тема: «Аналіз можливостей БПЛА  
для задач топографічної розвідки території»**

**Виконавець:** студент групи ГС – 208М Федорук Віталій Валентинович

**Керівник:** к. т.н., доцент кафедри Гладілін Валерій Миколайович

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Гладілін В.М.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра аерокосмічної геодезії

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.ф.-м. н., професор

\_\_\_\_\_ Железняк О. О.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>Розділ 1. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ БПЛА ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ<br/>ЗАДАЧ КАРТОГРАФУВАННЯ.....</b> | <b>8</b>  |
| 1.1. Класифікація БПЛА.....   | 9         |
| 1.2. Аналіз можливостей застосування БПЛА для картографування.....                    | 13        |
| 1.3. Особливості зйомки БПЛА.....   | 24        |
| 1.3.1. Вплив умов польоту.....  | 24        |
| 1.3.2. Вплив знімальної системи.....  | 26        |
| 1.4. Рекомендації щодо забезпечення параметрів польоту і аерофотосистеми.....         | 31        |
| 1.5. Застосування фотограмметричної обробки даних аерозйомки з БПЛА.....              | 32        |
| <b>Розділ 2. АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС.....</b>                              | <b>37</b> |
| 2.1. Правовий статус використання БПЛА.....   | 37        |
| 2.2. Технологічна схема виконання обробки даних аерознімальних робіт.....             | 39        |
| 2.3. Принципи обробка матеріалів аерознімання.....                                    | 40        |
| 2.3.1. Попередня обробка матеріалів аерознімання.....                                 | 42        |
| 2.3.2. Фотограмметрична обробка матеріалів аерознімання.....                          | 43        |
| 2.3.3. Дешифрування аерознімання.....   | 45        |
| 2.3.4. Документування матеріалів аерознімання знімка.....                             | 47        |
| <b>Розділ 3. СТВОРЕННЯ ПЛАНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС.....</b>                               | <b>48</b> |
| 3.1. Загальні відомості про ортофотоплани.....  | 48        |
| 3.2. Створення проекту польоту в програмі Mission Planer.....                         | 49        |
| 3.3. Створення топографічних планів.....  | 55        |
| 3.4. Створення ортофотопланів.....  | 59        |
| <b>Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕПЕКИ.....</b>                                 | <b>78</b> |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>  | <b>83</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>  | <b>85</b> |

## ВСТУП

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

БПЛА – це робот. Іншими назвами цього класу носіїв є безпілотники, безпілотні авіаційні системи – БАС, дрони, квадрокоптери, мультикоптери, (англ. UAS – unmanned aircraft system, UAV – unmanned aircraft vehicle) тощо.

Дрон (від англ. drone – трутень, джміль) – неформальна (жаргонна) назва БПЛА. Проте дрон не обов'язково повинен літати. Наприклад, танк без екіпажу також є дроном. Тому на думку Віджея Кумара, професора інженерії Пансільванського університету, до речі і не одного його, який з групою колег працює над створенням БПЛА, вважає що назва БПЛА дронами не є вдалою. Єдине дроноподібне, що є у цих роботів, це безперервне джичання, яке вони видають.

Квадрокоптер, також на думку Віджея Кумара і з ним можна погодитись, це найкраща назва. Коптер – скорочення від гелікоптера. Назва “квадрокоптер” (англ. quadrocopter) стосується апаратів із чотирма роторами. Квадрокоптер означає чотири гелікоптери. Робот з чотирма роторами є гвинтокрилом, може, навіть квадротроним гвинтокрилом. Це не набір з чотирьох апаратів... Це ж стосується і мультикоптерів. Мультикоптер (англ. multi rotor, multicopter, copter) – літальний апарат з довільною кількістю несучих гвинтів, розміщених в одній площині, що обертаються діагонально в протілежних напрямках. Мультикоптери можуть виконувати вертикальний зліт і посадку, горизонтальний політ, а також стабільно зависати в повітрі.

В подальшому будемо використовувати термін БПЛА. БПЛА володіють різним ступенем автономності - в подальшому до повністю



автоматичних, а також різняться конструкцією, призначенням і безліччю інших параметрів. Управління БПЛА може здійснюватися епізодичною подачею команд або безперервно – в останньому випадку БПЛА називають дистанційно-пілотованими літальними апаратами (ДПЛА). Основною перевагою БПЛА/ДПЛА є істотно менша вартість їх створення і експлуатації (при умові рівної ефективності виконання поставлених задач). За експертними оцінками бойові БПЛА верхнього діапазону складності коштують приблизно 6 млн доларів США, в той час як вартість порівняного польотного вініщуваща становить близько 100 млн доларів США. Недоліком БПЛА є вразливість системи дистанційного управління, що особливо важливо для БПЛА військового призначення.

БПЛА різняться розміром, продуктивністю і типом. Вони можуть бути майже непомітними, як комахи, або бути великими, схожими на пілотовані літаки. Вони можуть зависати у повітрі або розвивати швидкість до 1000 км\год. Управління БПЛА може здійснюватись за допомогою смартфона, планшета або програмного забезпечення супутникового зв'язку. БПЛА можуть запускатись за допомогою ракет, катапульт або вручну і переносити різні види матеріалів, наприклад відеокамери або мінералні добрива для сільськогосподарських потреб.

Сучасні технології дозволяють літати БПЛА на значні відстані протягом тривалого часу, однак переважна більшість не піднімається більше ніж на 150 м над землею. Повітряний простір на цій висоті використовується здебільшого для польотів планерів та легкомоторної авіації.

БПЛА застосовують повсюдно: від секретних військових операцій та патрулювання кордонів до рятувальних місій та розв'язання суто побутових питань – фотозйомок сімейних подій або доставки піци. Створюється враження, що чи не єдиним фактором, що стримує розвиток та застосування БПЛА у розвинених країнах світу сьогодні стає законодавство, яке захищає приватні інтереси громадян від цих занадто “спострежливих” пристроїв та піклується про боротьбу зі злочинністю та безпеку повітряного простіру.

**Актуальність теми.** Пілотовані літаки обходяться набагато дорожче як в плані обслуговування так і в пліні 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 і певні апгрейди літаючих помічників. БПЛА пророкують долю мобільних телефонів, тобто в найближчому майбутньому вони можуть стати незамінним атрибутом нашого життя. Це пояснюється, насамперед, порівняно невеликою їх вартістю, простотою керування, малими витратами на експлуатацію та утримання тощо.

Перевага використання – суттєво менші витрати коштів, оперативність, актуальність отриманих даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями використання БПЛА для розв'язку окремих задач цивільної сфери присвячені праці Акулова В., Алексеєва В., Галушко С., Глотова В., Гуніної А., Зінченко О., Матійчика М., Метешкіна К., Сечіна О., Станкевич С., Трубнікова Г., Харченко В., Шевні М., Barton J. D., Chen J., Droeshel D., Gini R., Grenzdörffer G., Mäkaläinen A. та ряду інших. Але оскільки при цьому використовується дуже велика кількість різних за класом і аеродинамічними схемою БПЛА з широким спектром техніко-аеродинамічних характеристик, різноманітним аерознімальним і навігаційним обладнанням, то аналіз можливостей їх використання для розв'язку тих або інших задач ще далекий від завершення.

**Метою дипломної роботи** є створення великомасштабних планів і ортофотопланів територій при застосуванні БПЛА. Визначення недоліків при застосуванні БПЛА для топографічного знімання в процесі його реальної апробації.

У першому розділі наведений аналіз стану і сфер застосування БПЛА. Другий розділ присвячений аналізу інформації з БПЛА за допомогою ГІС.

У третьому розділі наведено технологію виконання аерознімальних робіт, створення планів, викладені принципи обробки матеріалів аерознімання. Четвертий розділ присвячено техніці безпеки при поводженні та роботі з БПЛА.

**Об'єктом дослідження** – літальні апарати, аерозйомка.

**Предметом дослідження** – ортофотоплани, їх створення за допомогою аерозйомки з БПЛА.

**Методи дослідження.** Теоретичним підґрунтям розробки є системний підхід та основні положення сучасної теорії управління територіями, теорія геоінформаційних систем і автоматизованої побудови карт.

**Наукова новизна роботи** полягає в обґрунтуванні необхідності використання БПЛА для задач картографування. Запропонована методика побудови ортофотопланів. Засвідчена їх прийнятна точність.

**Практична значимість** роботі полягає в тому, що впровадження аерозйомки з БПЛА дозволяє завжди отримувати актуальну і точну геопросторову інформацію при прийнятній вартості.

## РОЗДІЛ 1.

### ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ БПЛА ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ КАРТОГРАФУВАННЯ

Серед розмаїття картографічних задач, що розв'язуються за допомогою БПЛА виділяють:

- оперативну аерозофтозйомку і моніторинг протяжних об'єктів – ліній електропередач, трубопроводів, автодоріг тощо [23];
- картографування і інвентаризацію лісової рослинності [24];
- планову зйомку як основу оновлення топопланів і фото планів міст і сільської забудови [25];
- створення ортофотопланів для потреб проектування і забудови, включаючи важкодоступні райони, гірську місцевість [26];
- землеустрій і моніторинг [27];
- обстеження кар'єрів і відвалів видобутку корисних копалин, побудова цифрових моделей місцевості [26];
- створення фотопланів для забудовників загородної нерухомості, який слугує підложкою для генплану [26].

## 1.1. Класифікація БПЛА

Сучасні БПЛА мають дуже різні характеристики. Ця розмаїтність походить від великої кількості конфігурацій і компонентів БПЛА. Виробник поки що не обмежений жодними стандартами. Як наслідок сьогодні відсутні вимоги з боку авіаційних регуляторів щодо оснащення БПЛА.

Сучасна існуюча класифікація і термінологія, на жаль, вже не відображають дійсний стан речей на ринку БПЛА і приносять деяку плутанину в поняттях. Тому низка країн вводить власну термінологію і класифікацію в цій галузі. Так, наприклад, США в 2005 р. в прийнятому документі “Перспективи розвитку дистанційно-керованих і безпілотних літальних апаратів Військово-повітряних Сил США” серед задач, які Пентагон ставить перед розробниками безпілотних систем, формулюється і задача створення термінології в цій галузі. Цей документ визначає напрями розвитку й інтеграції технології розробки цього сегмента авіації, який останніми роками переживає підйом. Найважливішими достоїнствами БПЛА є високі електронні технології, які застосовуються при виробництві обладнання для цих систем і можливість використовувати апаратів у складних умовах.

Як і будь-які інші літальні апарати БПЛА можуть бути: літаками, гвинтокрилами, автожирами, махольотами, дирижаблями тощо. Класифікувати БПЛА можна за різними критеріями, наприклад:

- за *типом конструкції* БПЛА поділяють на апарати з нерухомим крилом, що нагадують планери і мультикоптери. БПЛА з нерухомим крилом можуть переміщуватись у повітрі (до 100км/г) і сеанс зйомки у них більш тривалий (4-5 годин), однак їм, як правило, потрібна злітна смуга, і вони не можуть зависати у повітрі як коптери. Коптери переміщуються у повітрі повільніше, їх швидкість не перевищує 60 км/г, а час їх роботи без підзарядки зазвичай менше години. Однак вони більш маневрені, крім того – можуть, як гвинтокрил зависати у повітрі;

- за автономністю БПЛА поділяються на самополітні та гібридні, які можуть повертатись на точку зльоту при малій зарядці акумулятора;

- технологією управління БПЛА можуть бути як з радіуправлінням (через WI-FI та інші частоти, що не вимагають ліцензії), так і 3G/4G. Якщо БПЛА є повністю автономним, то за допомогою систем навігації (GPS, ГЛОНАСС) він може сам дістатися до певної точки і повернутися назад. Завдяки датчикам, останні моделі БПЛА можуть орієнтуватися навіть у закритому приміщенні, вміло облітаючи перепони;

- за типом використовуваного двигуна БПЛА класифікують на БПЛА з двигуном внутрішнього згорання, БПЛА з реактивним двигуном, БПЛА електричним двигуном, БПЛА з ядерним двигуном, БПЛА з двигуном на сонячній енергії.

- за типом виконуваної задачі БПЛА різняться розмірами (від комара, до великих БПЛА з розмахом крил декількох метрів).

J'son & Partners Consulting класифікує БПЛА за такими основними характеристиками:

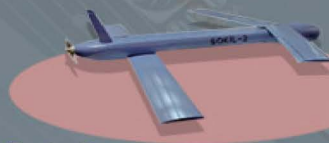
- за дизайном/ конфігурацією;
- за типом зльоту;
- за цільовим призначенням;
- за технічними характеристиками;
- за типом живлення силової установки;
- за корисним навантаженням;
- за типом системи автоматизації;
- за системою попередження зіткнень;
- за типом навігації;
- за типом захисту від глушення сигналів;
- за пропускну здатністю радіочастоти спектра;
- за спеціалізацією програмного забезпечення.

Найбільш вдалою, на мою думку та на думку автора є класифікація, представлена в публікації [4] та доповнена автором на рис. 1.1. Дана класифікація





# Українські безпілотники



## Сокіл-2

Розвідувальний апарат. Запускається як ракета з контейнера, що встановлюється на бронетехніку.



## Стрепет-С

Багатоцільовий апарат. Виконує завдання в складних метеоумовах практично без участі людини.



## М-7 «Небесний патруль»

Двомоторний апарат дистанційного керування. Призначений для картографії та аерофотозйомки, відеоспостереження.



## М-6 «Жайвір»

Апарат дистанційного керування. Призначений для біозахисту рослин, картографії, відеоспостереження.



## А-3 «Ремез»

Автоматичний апарат малого розміру. Придатний до потайливого розгортання без використання транспортних засобів.



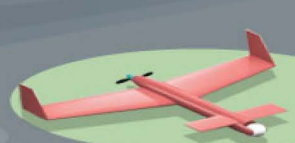
## А-4К «Альбатрос»

Автоматичний апарат з парашутною системою посадки. Призначений для повітряної розвідки, відеоспостереження.



## А-11 «Стриж»

Тактичний розвідувальний реактивний апарат. Може використовуватися як повітряна мішень



## А-2 «Синиця»

Малорозмірний апарат. Призначений для забезпечення дій польових частин в ланці взвод-рота, розвідки, моніторингу.



## А-5 «Орлан»

Апарат призначений для повітряної розвідки. Адаптований для умов високогір'я та великих водних просторів.



## А-12 «Ураган» (Перспективна розробка)

Апарат вертикального зльоту. Призначений для антитерористичних операцій у місті, розвідки, патрулювання.



Джерело: ТОВ «Науково-промислові системи» КБ «Зліт», Вікіпедія, авіаційна енциклопедія «Уголок неба».

© 2014 Укрінформ. Усі права захищені.  
У разі використання матеріалів посилання обов'язкове.  
www.ukrinform.ua



Рис.1.2. Характеристика основних українських БПЛА



Як свідчить рис. 1.2, основні технічні характеристики БПЛА українського виробництва не поступаються своїм закордонним аналогам. Проте виробництво та розвиток цього виду промисловості в Україні залишається на рівні поодиноких занять волонтерів та приватних фірм, що бачать перспективний та практично не освоєний ринок “безпілотників” на території нашої держави. Така ситуація свідчить про незацікавленість держави в освоєні цього перспективного напрямку виробництва. І доки держава не візьметься за конструювання та виробництво власних БПЛА, їх широке використання буде неможливими.

## **1.2. Аналіз можливостей застосування БПЛА для картографування**

Аерозйомка вже протягом кількох десятиліть є ефективним інструментом для виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та проведення різних видів моніторингів. Сучасні технології створення топографічних та кадастрових планів ґрунтуються саме на використанні матеріалів цифрового аерознімання. Однак собівартість застосування літаків та гелікоптерів для локального великомасштабного знімання на порядок вища на відміну від легкомоторної авіації. Тому альтернативним розв’язком є використання для вищевказаних цілей БПЛА.

Для якісного виконання цих завдань потрібно оптимізувати технологічні схеми застосування БПЛА в аерозйомці. Використовуючи БПЛА для процесу топографічної аерозйомки, необхідно розв’язати низку задач, забезпечивши:

- стабілізацію БПЛА під час проведення його за маршрутом;
- збереження заданої швидкості польоту;
- прямолінійність маршруту;
- зменшення кутів нахилу.

Тому головною проблемою є дослідження причин виникнення похибок внаслідок дії вищенаведених чинників та виявлення шляхів їх усунення.

Типове аерознімальне обладнання безпілотних літальних апаратів, як правило, містить цифрову камеру або сканер. В деяких випадках БПЛА

обладнують лазерними віддалемірами або лазерними сканерами, а середні та важкі – радіолокаційними станціями із синтезованою апаратурою антени (РСА).

Безпілотні або дистанційно керовані апарати, безумовно, відповідають всім характеристикам роботизованих систем і, насамперед, це їх здатність виконувати завдання автоматично, що не протребує присутності виконавця в небезпечних умовах, дає змогу здійснювати монотонну роботу, яка вимагає певних високофахових навичок і концентрації уваги.

У публікації [6] розглянуто аспекти використання безпілотних комплексів для ведення різного виду моніторингу. Такі комплекси застосовуються для актуалізації та уточнення геопросторої інформації. Отримання в результаті зйомки зображення накладається на цифрову модель рельєфу місцевості, після чого дані можна використовувати для вимірювання відстаней, визначення площ, як підґрунтя для пошарового накладання іншої інформації [4].

На мою думку, автори вдало проаналізували структуру ринку БПЛА, в також професійно виділили три групи цивільного застосування БПЛА:

- для забезпечення безпеки життя;
- в науково-дослідницьких цілях;
- в комерційних цілях.

У публікації наголошується на подальшому зростанні цивільного сегмента ринку БПЛА практично у всіх регіонах світу. Проте розроблення і виробництво сучасного безпілотного авіаційного комплексу – це не основне завдання авіабудування в його традиційному розумінні. В цьому аспекті літальний апарат виконує важливу та одну з багатьох функцій – засобу транспортування.

У статті [7] запропоновано поділ більшості задач, які розв'язуються за допомогою аерокосмічних методів, на три рівні: глобальний, регіональний, локальний (табл. 1.1).

## Просторові рівні аерокосмічні 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, ділянки   | Легкі літаки, мотодельтаплани, БПЛА       |

Наголошується, що сьогодні саме безпілотні літальні апарати широко використовуються для аерознімання, оскільки є недорогою альтеративою традиційному зніманню з літаків, гелікоптерів, мотодельтапланів та супутників.

Крім високої економічної ефективності (здешевлення в десятки разів), БПЛА мають додаткові переваги порівняно з традиційними аеро- та космічною зйомкою:

- невелика висота зйомки – можна виконувати зйомку на висотних від 10 до 200 метрів для одержання надвисокого розрізнення (одиниці й десятки сантиметра) на місцевості;

- точковість – можливість детальної зйомки невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад в умовах міської забудови;

- мобільність – не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені злітні майданчики, БПЛА легко транспортуються легковим автомобілем (або переносяться вручну), відсутня складна процедура дозволів і узгодження польотів;

- висока оперативність – весь цикл, від виїзду на знімання до одержання результатів, займає кілька годин;

- екологічна чистота польотів – використовуються малопотужні бензинові або безшумні електричні двигуни, забезпечується практично нульове навантаження на навколишнє середовище.

Автори статті детально висвітили переваги БПЛА над іншими літальними апаратами та вдало виділили особливості певних видів безпілотних літальних апаратів, а також наголосили на необхідності використання різних засобів аерокосмічної зйомки, залежно від просторового рівня поставленої задачі.

У статті [8] розглянуто варіанти побудови безпілотних авіаційних комплексів, проаналізовано технічні характеристики та способи їх застосування. Показано, що коло завдань, які вирішують безпілотні засоби, значно розширюється.

Створенням дослідних зразків безпілотної авіаційної техніки в Україні займається ціла низка організацій: “Юавіа” (м. Київ); держане підприємство Міністерства оборони України “Чугуївський авіаремонтний завод”; конструкторське бюро “Зліт” (м. Харків); міжгалузевий науково-дослідницький інститут проблем фізичного моделювання (м. Харків); “Укртехно-Атом” (м. Київ); Державний аерокосмічний університет ім. Н. Є. Жуковського; науково-дослідні центри при технічних ВНЗ та окремі творчі колективи. Проте така діяльність має переважно комерційний характер.

Ефективність застосування БПЛА різного призначення багато в чому визначається якістю функціонування командного та інформаційного каналів. Перший із них призначений для передавання сигналів керування БПЛА з пункту управління на його бортову апаратуру, яка відпрацьовує отриманні команди керування. За цими командами літальний засіб змінює висоту, курс і швидкість польоту, а також відпрацьовує зміну режимів роботи розвідувальної та іншої апаратури. Автори статті дали чітке визначення терміна “безпілотний літальний апарат” та дослідили складові обладнання БПЛА та безпілотних авіаційних комплексів.

У публікації [9] наведено 3D-моделювання та класифікацію видів дерев у парковій зоні за допомогою аерознімків, отриманих із систем БПЛА. Відповідно до проекту FoGLIE (Fruition of Goods Landscape in Interactive Environment) автори виконали дослідження території регіону Ломбардії (Італія), який характеризується наявністю різноманітних видів ландшафту і культурних цінностей.

Основною метою проекту було створення 3D-реконструкція природної, художньої та культурної спадщини досліджуваної території. У результаті було отримано велику кількість мультиспектральних знімків високого розрінення. Для цього використовували дві компактні цифрові камери: Pentax Optio A40 для RGB знімків і Sigma DP1, щоб отримати NIR групу. У процесі зйомки нахил кріплення відеокамери за наявності вітру призвів до змазу зображення, а набори даних характеризувались нерівномірним освітленням. Але після проведення попередньої обробки, зменшення шуму та підвищення контрастності можна стверджувати, що зображення отриманні за допомогою алгоритму ISOCLASS в ERDAS ER Mapper. Але виявилась недосконалою, оскільки не всі ділянки правильно класифіковано.

У статтях [10, 11] подано загальний огляд характеристик сучасних моделей БПЛА, які можуть застосуватись в аерознімальних процесах для картографування. Також в цих публікаціях добре висвітлені переваги і недоліки БПЛА. Необхідно звернути увагу на те, що ці моделі не є ідеальними і мають

вади, над усуненням яких треба ще працювати, щоб моделі повністю відповідали вимогам проведення аерозйомки для картографування.

Розглянуто особливості даних аерозйомок з БПЛА та наведено рекомендації щодо його проведення, щоб досягти максимальної точності результатів зйомки. Хочу наголосити, що дуже важливо звертати увагу на характеристики камери, яка встановлюється на борту безпілотного апарата. З БПЛА отримують дволі якісні аерознімальні матеріали, але за умови виконання певних вимог до знімальної апаратури і процесу знімання та строгої фотограмметричної обробки. В публікації подано розгорнутий огляд моделей БПЛА, для визначення аерознімальних БПЛА.

В публікації [12] розглянуто методи цифрової обробки відео зображень апаратурою БПЛА. Зберігання і передавання зображень, що представлені у вигляді матриці пікселів, потребує опрацювання великих об'ємів даних. Проте безпосередньо подання зображення у нестиснутому вигляді є неефективним унаслідок значної корельованості елементи матриці, а варіант незалежного кодування пікселів утворює надмірні коди. На сучасному етапі для стиснення зображень у разі передавання їх по каналах зв'язку найширше використовуються стандарти JPEG та MPEG. Їх робота основана на дискретно-консинусному перетворенні. Їх недоліком є те, що з підвищенням ступеня стеснення погіршується якість відновленого зображення. Тому особливої актуальності серед проблем цифрової обробки зображень та забезпеченням максимально можливого стеснення даних.

Формат MPEG (Moving Picture Exports Group) розроблялися як для цілей цифрового телевізійного мовлення (MPEG-2), так і для застосування у мультимедійних системах (MPEG-1, MPEG-4, MPEG-7) з метою зберігання і передання динамічних зображень.

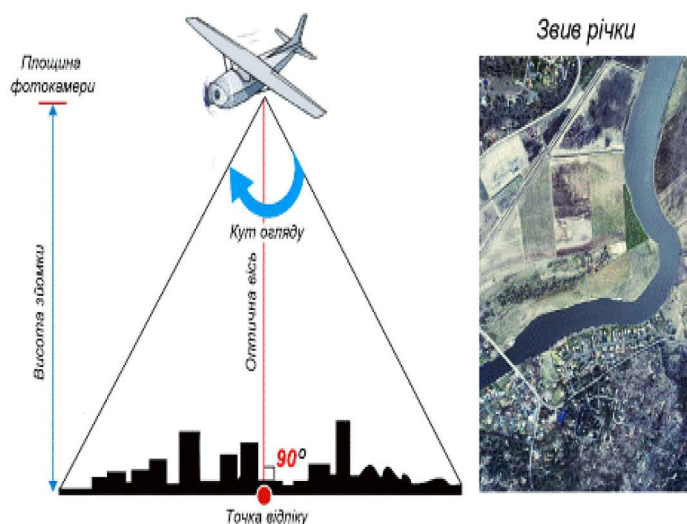
Автори подали у цій статті розгорнуту класифікацію технічних засобів обробки зображень, головне завдання якої – підвищення його якості, яка оцінюється візуально, а також виділили найчастіше використовування процедури обробки. На підставі проведеного аналізу тенденції розвитку використання

матричних приймачів випромінювання (МПВ) та алгоритмів цифрової обробки для отримання інформації з БПЛА доведено актуальність завдання проведення аналізу та встановлення особливостей функціонування і застосування алгоритмів цифрової обробки апаратурою БПЛА.

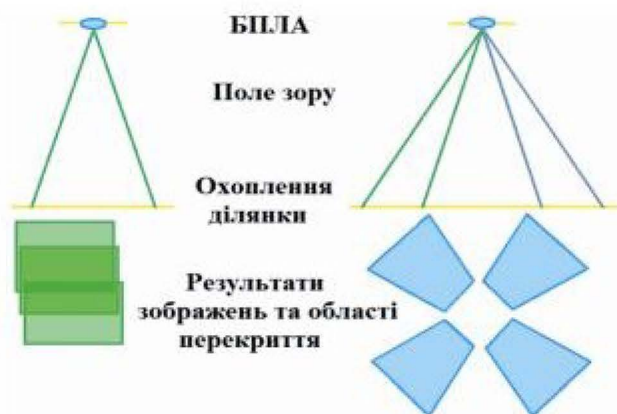
В статті [13] йдеться про розвиток системи чотирьох ракурсів камер MICRO-БПЛА. Розроблення такої мультикамерної системи загальною масою 1 кг, зважаючи на фотограмметричні аспекти, є досить складними завданням. Нахилені камери дозволяють охопити більшу площу ділянки, хоча і не в одному масштабі по всьому зображенню (рис. 1.3).

Є три головних кути знімання. Кожен кут надає різне візуальне бачення зазнятої території, і використовується для різних цілей.

1. Вертикальний кут, (по вертикалі) – зображення виконується камерою спрямованою вертикально вниз, під кутом  $90^\circ$ . Такий кут зйомки дає можливість побачити об'єкт зверху з мінімальним спотворенням, а також побачити масштабні відношення поруч розташованих об'єктів. Використовується в основному в картографії (для створення карт невеликих територій), фотограмметрії (для знімання природних ландшафтів), рис. 1.4.



*Рис. 1.4. Вертикальна аерофотозйомка*



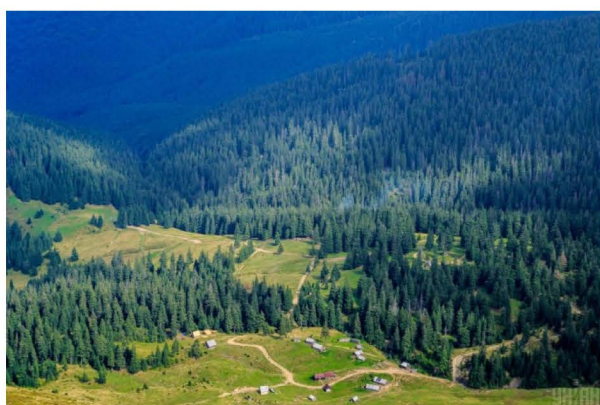
*Рис. 1.3. Охоплення ділянки місцевості нахеленою системою “Four Vision” порівняно зі звичайним надирним полем зору*



2. Середній кут нахилу оптичної вісі – зйомка, виконана під кутом до  $40^\circ$ .

Цей кут зйомки дає більше огляд земної поверхні, але не показує лінію горизонту, отже небосхилу ще не видно. Таку зйомку застосовують для обстеження території або пошуків об'єктів, людей, рис 1.5.

3. Великий кут нахилу оптичної вісі – зйомка, виконана під кутом більше  $70^\circ$ . Така зйомка дає максимум кут огляду місцевості і захоплює лінію горизонту і частину небосхилу, рис 1.6.



*Рис. 1.5. Нахилене аерофотознімання, під кутом до 40 градусів*



*Рис. 1.6 Нахилене аерофотознімання, під кутом 70 градусів*

Проте зображення, отримані з одного нахилоного напрямку, спотворились через двонаправлену функцію відбивної здатності (BRDF) рослинності. Це означає, що відображення рослинної поаерхності сильно залежить від ракурсу і геомеричного зв'язку між сонцем і камерою. На основі проведених досліджень автори виділили додаткові умови для Мікро-БПЛА у разі застосування загальних систем камер чотирьох ракурсів:

- необхідні промислового класу програмовані (відео) камери, які добре підходять для фотограмметричних додатків;
- низький рівень споживання електроенергії;
- гнучка конструкція, щоб врахувати різні конфігурації;
- можливість зберігання даних на борту і GPS на основі польоту управління.



Розроблена система мультиголовки камери складається з чотирьох діагональних переспективних камер (Four Vision). У цій камері з відомими параметрами калібрування, ланцюг обробки зображень з високим розрізненням є перспективним. Порівняно з бортовими камерами середнього формату якість зображення досліджуваної камери на порядок гірша. Тому важливо дослідити питання покращення якості зображення.

У роботі [14] описано використання безпілотної системи в провінції Шаньсі (Китай) для отримання інформації з метою створення планів у масштабі 1:1000, а також основні етапи та ключові технології системи БПЛА. Отримано 1024 аерознімки району рабїт. У результати досліджень виявлено, що система БПЛА має переваги – високу точність аерознімків і великомаштабних цифрових лінійних графіків – DLG (Digital Line Graphic).

Цифровий лінійний графік (DLG) – це функція картографічної карти, що подається у цифровій векторній формі, яка розповсюджується Геологічною службою США (USGS).

Зображення, отримані за допомогою літаків і супутників, не завжди можуть забезпечити точність великомаштабного картографування, тому єдиним способом для отримання зображення у масштабі 1:1000 ті більших маштабах DLG є застосування БПЛА. Завдяки висоті та швидкості польоту можна отримати вищу точність аерознімків. Після обробки можна отримати DRG, DEM, DOM, і DLG, які забезпечать потреби держави і суспільства для всіх видів даних.

Автори статті висвітлили переваги БПЛА з фотограмметричної точки зору для отримання аерознімків з високим розрізненням і великомаштабних DLG.

У праці [13] розглянуто причини появи та напрями розвитку БПЛА та проаналізувати сучасний стан ринку безпілотної авіації. Останніми роками системи БПЛА набули актуальності для різних комерційних, промислових, громадських, наукових та військових операцій. Вони виконують такі завдання: знімання, обслуговування інфраструктури, огляд затоплених територій,

пожежогасіння, моніторинг місцевості, патрулювання лісових масивів з метою раннього виявлення пожеж, пошкодження ліній електропередач і трубопроводів, проведення аерознімальних робіт у сільськогосподарському виробництві на полях і в садах тощо. Аналізі розвитку використовуваних сьогодні у світі безпілотних систем виявляє стійку тенденцію до збільшення їхніх розмірів і маси, а також висоти й тривалості польоту.

Стосовно регіонального світового розподілу розробок та застосувань можна зробити висновок, що лідирують найрозвиненіші країни – Велика Британія, Німеччина та Франція. На них припадає 248 проєктів з 336, а це близько 73%.

Розвиток цивільних БПЛА нерозривно пов'язаний з розвитком військових, причому військові розвиваються стрімкіше і допомагають у розвитку цивільного ринку. Впродовж 2006-2012рр. світовий ринок цивільних БПС зріс на 350% а саме з 60 до 220 проєктів та застосувань.

Автори цієї статті вдало окреслили напрями розвитку БПЛА.

В публікації [15] подано результати еспериментальних робіт, які є продовженням досліджень можливості застосування БПЛА для виконання аерознімальних робіт. Акцентовано на необхідності стабілізації літального апарату і посилення автоматизації процесу аерознімання. Висвітлено також деякі недоліки аерознімання. На якість отриманих матеріалів вплинула неправильна оцінка швидкості та напрямку вітру, що призвело до неправильної оцінки кута зносу і, відповідно, неправильної орієнтації фотокамери відносно осі літака.

Застосування БПЛА дає можливість оперативно виконувати аерознімання спроектованої місцевості та отримати об'єктивні дані про наявність будов на території, оскільки зображення є і залишається реальним документом, завдяки якому завжди можна впевнитися у положенні та конфігурації границь ділянки.

Необхідно зазначити, що прив'язані аеростати мають позитивні та негативні ознаки. На перший погляд, їх можна застосувати для маршрутного,

навіть і для блочного аерознімання, пересуваючи засіб за проектною лінією, визначеною на місцевості. Однак на практиці це ускладнюється тим, що балон надто хиткий, гойдання камери виходить за межі допустимих кутів нахилу, що призводять до неможливості подальшого прецизійного опрацювання зображень.

У праці [16] представлена нова 2D-система гіперспектральних камер, розроблена VTT (Технічний дослідницький центр Фінляндії) і Rikola Ltd. Вона містить легку камеру давачем RGB-NIR відповідно для легкої ваги й економічності безпілотних літаків. MosaicMill може перетворювати дані камери в потрібний формат для фотограмметричної обробки і гарантує необхідну точність для додатків кінцевого користувача. MosaicMill також подали свою технологію EnsoMOSAIC для обробки гіперспектральних даних ортофотопланів. У цій статті описують основні етапи та результати застосування гіперспектральних давачів в ортомозаїці, найперспективніші результати, а також проблеми застосування в сільському і лісовому господарстві. Геометрична стабільність і калібрування мають важливе значення у зв'язку з високою точністю фотограмметричних робіт, для розрішення елементів внутрішнього орієнтування, тим більше, що рекомендується калібрування камери перед будь-якою фотограмметричною обробкою. З іншого боку, важливого знати стабільність систем камер.

Нова гіперспектральна систем камери добре підходить для землевпорядкування, рослинного і лісового моніторингу. Її точності є достатньою, і камери забезпечує економічний варіант для обмеженого корисного навантаження дистанційного зондування, порівняно з іншими гіперспектральними матрицями. Програмне забезпечення постійно удосконалюється, бажано було б досягти відповідного рівня технології для вузьких показників групи з великою точністю дистанційного зондування.

У праці [17] показано, що багато популярних БПЛА обмежуються розмірами і масою, що зумовило розроблення різноманітного дизайну сенсорних систем для цих роботів. Спроекований невеликий і легкий 3D-лазерний сканер, що безперечно обертається та унеможливорює сприйняття

навколишнього середовища в діапазоні 30 м практично у всіх напрямках. Цей давач добре підходить для 3D-виявлення перешкод, оцінки 6D-руху, локалізації та картографування.

Для оцінки руху цього БПЛА проведено реєстрацію 3D-лазерами сканером для отримання його схематичної карти. В експериментах порівнюється оцінки його руху на основі лазера із землі від системи захоплення руху. Загалом можна побудувати точну карту 3D-перешкод і оцінити траєкторію автомобіля на 3D-реєстрації сканування.

На підставі проведення аналізу тенденцій використання БПЛА та напрямів їх подальшого розвитку можна стверджувати, що використання БПЛА є перспективним для зйомки невеликих за протяжністю площадкових об'єктів і зйомки лінійних об'єктів. Їх випровадження стрімко розвивається і вони займають гідне місце в аерознімальних процесах.

На думку автора, наявні класифікації недостатньо розгалужені, тому запропонована автором класифікація розширює можливості щодо обґрунтування вибору тих чи інших конкретних БПЛА для їх використання в інтересах економіки та національної безпеки України.

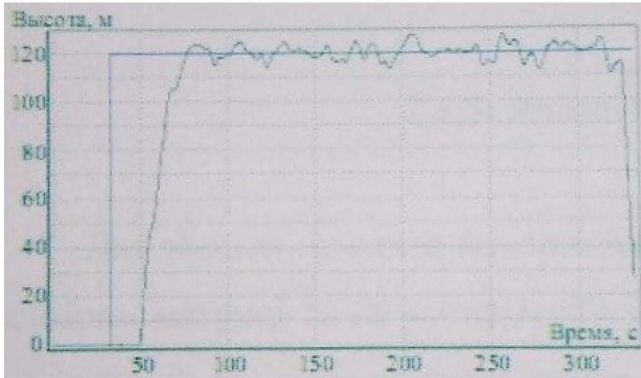
### **1.3. Особливості аерофотозйомки з БПЛА**

#### **1.3.1. Вплив умов польоту**

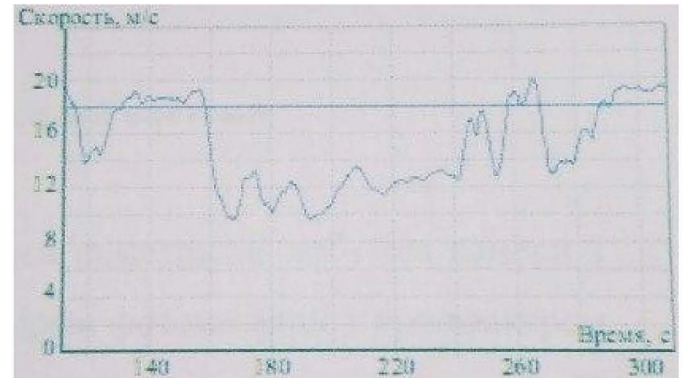
Аерофотозйомка з БПЛА принципово відрізняється від традиційної зйомки з великих літаків але має певні особливості. Політ БПЛА, як правило, здійснюється з крейсерською швидкістю 20-40 км/год (6-11 м/с) в діапазоні висот 50-150 м – для БПЛА типу мультикоптер – і 60-90 км/год (16-25 м/с) в діапазоні висот 100-500 м – для БПЛА типу монокрило [28].

Треба відзначити, що на таких висотах на легких і надлегких БПЛА спостерігаються величезний вплив турбулентних потоків. Цей вплив можна

прослідкувати з рис. 1.7 і рис. 1.8 [28], де прямою лінією задані висоти польоту повздовжня швидкість БПЛА відповідно, а кривими описана поведінка БПЛА в результаті впливу турбулентності, повітряних потоків, реакції автопілоту і органів управління.



*Рис. 1.7. Графік зміни заданої і поточної висоти БПЛА*



*Рис. 1.8. Графік зміни заданої і поточної повздовжньої швидкості БПЛА*

Автопілот, що представляє собою систему зі зворотним зв'язком, здатний за допомогою органів управління компенсувати подібний вплив неоднорідності навколишнього простору [29, 31]. Однак реакція на збурення у системи “датчик-автопілот-органи управління” також займає певний час (0,01-0,1с). Цього моменту достатньо для того, щоб істотно змінити положення або орієнтацію БПЛА в просторі, В табл. 1.2. наведені моделі декількох найбільш поширених неконтрольованих змін параметрів польоту малих БПЛА і імовірні причини, що здатні привести до нестабільності подібного роду.

Кожна з наведених нестабільностей негативно впливає на одержуванний матеріал зйомки, що накладає певні обмеження на параметри настройки фотокамери, які максимально компенсують вплив атмосфери на політ носія.

## Вплив турбулентних потоків на БПЛА

| Параметри польоту БПЛА   | Зміни  | Причини змін параметрів польоту   |
|--------------------------|--------|---|
| Висота                   | 1-7 м  | Пориви повітряних потоків проти курсу або по курсу БПЛА, зміни густини атмосфери. |
| Курсовий кут і кут крену | 5-15°  | Повітряні потоки, перепендикулярні курсу БПЛА                                     |
| Кут тангажу              | 5-15°  | Повітряні потоки, повздовжні курсу БПЛА   |
| Швидкіст                 | 1-3м\с | Повітряні потоки, повздовжні курсу БПЛА   |

## 1.3.2 Вплив знімальної системи

Для зйомки зазвичай використовуються неметричні побутові камери з розміром матриці 10-20 мегапікселів і розміри фотоматриці з кропфактором 1-3 одиниці. Фокусна відстань камер зазвичай складає близько 50 мм ( 35 мм еквіваленті) що відповідає розміру пікселя на місцевості (GSD) від 7 до 35 см [18]. Це можна пояснити оптимізацією вибору між великою глибиною різкості (при малій фокусній відстані).

Найчастіше, знімки з БПЛА обробляються простими нестрогими методами (афіне перетворення знімків на площину). В результаті, користувач отримує накладні монтажні, які окрім низької точності можуть містити розриви контурів на стиках сусідніх знімків. [28].

При розгляді особливостей зйомки з БПЛА і складанні рекомендацій по її проведенню будемо виходити за строгої фотограмметричної обробки даних, в результаті якої можна очікувати точність отримуваних результатів (як правило, ортофотомозаїки) близько одного GSD. При зазначеннях параметрів зйомки вказаних вище, результати відповідають по точності ортопланами масштабів вод 1:500 до 1:2000 залежно від висоти знімання.

Для строгої фотограметричної обробки даних аерозйомки й одержання максимально точних результатів необхідно, щоб щімки в одному маршруті мали потрібне перекриття, а перекриття між знімками сусідніх маршрутів при площинній зйомці складало не менше 20%. На практиці, при зйомці з БПЛА ці параметри витримують далеко не завжди. Політ БПЛА не є стійким, на нього впливають пориви вітру, турбулентність й інші чинник збурення.

Якщо зйомку із звичайних літаків планують з перекриттям уздовж маршруту 60% , а між маршрутами 20-30%, то проектувати зйомку БПЛА потрібно з перекриттям уздовж маршрутів 80%, а між маршрутами - 40%, щоб, по можливості, виключити розриви у фототріангуляційному блоці [19].

На БПЛА, як правило встановлюються цифрові камери Canon [31, 32] або більш наближені до повноформатних Sony [32]. Це пов'язано з простотою електронного керування камерами цих фірм [33]. Використання побутових камер має як свої переваги (невисока вартість, простота заміни при “жорсткій посадці”), так і свої недоліки.

Основним недоліком є те, що побутові камери первісно не відкалібровані - невідомі їх точні фокусні відстані, головна точка, дисторсія. При цьому нелінійні спотворення оптики (дисторсія), які припустимі при побутовій зйомці, можуть складати до декількох десятків пікселів, що на порядок знижує точність результатів обробки. Проте, такі камери можуть бути відкалібровані [20] у лабораторних умовах, що дає можливість отримувати практично таку ж точність обробки, як і для професійних малоформативних фотограметричних камер.

Доцільно встановлювати на такі камери об'єктиви з фіксованою фокусною відстанню. При зйомці потрібно виставляти фокусування на нескінченність і відключати функцію “автофокусу”.

Другий недолік використовуваних камер відноситься безпосередньо до камер Canon – у них, на відміну від професійних фотограметричних камер, використовується щілинний затвор, внаслідок експозиція різних частин

зображення здійснюється в різні моменти часу і відповідає різним положенням носія. Так, якщо витримка при зйомці складає  $1/250$  с, то при швидкості БПЛА в 20 м/с зміщення камери при зйомці кадру становить 8 см, що порівняно з розрізненням зйомки на малих висотах і спричиняє додаткову систематичну похибку в знімку. Такі похибки можуть накопичуватися в процесі фотограмметричного згущення (зрівнювання) при зйомці протяжних тиреторій. Для того щоб зменшити вплив цього ефекту і для ліквідації “змазу” знімків, потрібно здійснювати аерозйомку з найменшими можливими витримками ( не довше  $1/800 - 1/2000$ с ), максимально витримка залежить від висоти.

Похибки, викликані паралельними зміщенням камери, можна спробувати враховувати як параметр самокалібрування при фотограмметричному зрівнюванні.

Зміщення, що викликаються кутовим кутом рухом камери в момент зйомки, неможливо врахувати. Частково проблему зілинного затвору могли б вирішити камери з центральним затвором, що мають порівняну з дзеркальними камерами якість об’єктива і матриць. Для зменшення “змазу” і ефектів, викликаних щілинним затвором, потрібно обмежити витримки при зйомці – не становить довше  $1/250$  с [18].

Знімки цифрових камер, як аматорська так і професійних, мають прямокутну форму. “Вигідніше” розташовувати камеру так, щоб довга сторона знімка розташовувалася поперек польоту – це дозволяж знімати більшу площу при тій же довжині маршруту. Зйомку слід робити з максимальною якістю – з найменшим *jpeg* стискуванням або в RAW, якщо останнє можливо.

Сучасний рівень розвитку навігаційних засобів дозволяж робити виміри елементів зовнішнього орієнтування (ЕЗО) безпосередньо в процесі зйомки. Типові точність таких вимірів досягають одиниць сантиметрів по просторових координатам X, Y, і Z і 0.005 градуса по кутах крену, тангажа і рилання для найсточніших систем Applanix POS AV, що встановлюються на



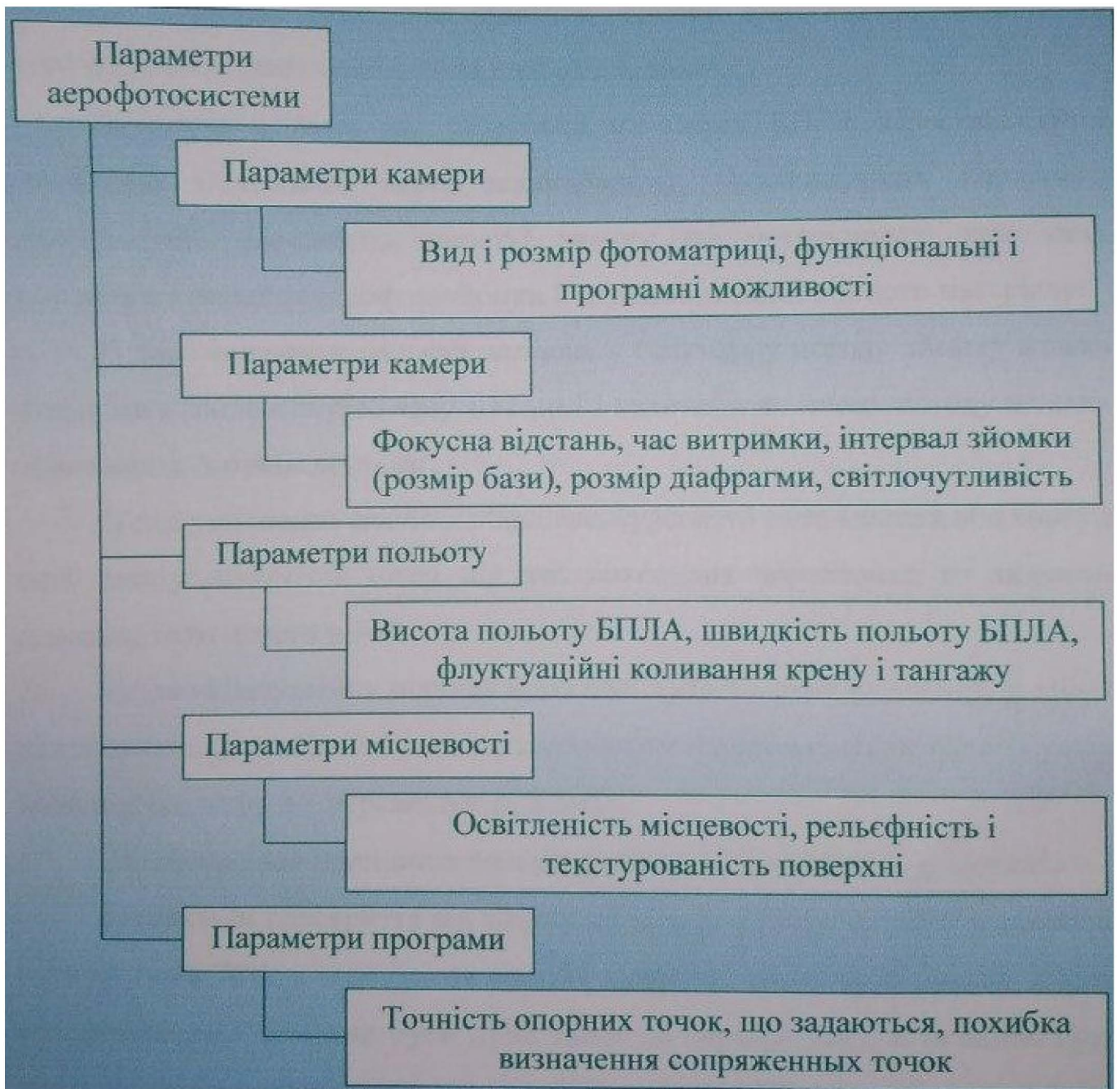
великих літаках. Найчастіше цього достатньо щоб здійснити обробку без використання опорних точок. У будь-якому разі, наявність таких даних значно спрощує обробку і дозволяє виконувати деякі етапи обробки повністю в автоматичному режимі.

Сучасні досягнення мікроелектроніки дозволяють зібрати механічний (точніше MEMS – електронно механічний) гіроскоп в корпусі розміром в декілька мм, вартістю від 250 доларів США. Зрозуміло, що такі гіроскопи не дають точність професійних, мають значний визід (приблизно один градус за годину) при експлуатації, але істотно спрощує подальшу обробку даних. При типових постачаннях Птеро Е4, Дозор 50 на борт можуть бути встановлені такі малогабаритні інерціальні системи – IMU ( на Дозор-50 ставиться IMU розробки ТОВ “Транзас Телематика”) і високоточні дводіапазонні GPS (TOPCON eigo 160 на Птеро-Е4, вбудований GPS приймач на Дозор-50). Паспортна точність цих GPS приладів складає  $(10+1,5 \times B)$  мм, де  $B$  – віддалення від базовою станції в км в плані і  $(20 + 1,5 \times B)$  мм по висоті.

На жаль на борт БПЛА встановлюють більш дешевий GPS приймачі і не встановлюють IMU датчики . Дані про центри проекції знімків в телеметричній інформації знімаються через протоколи NMEA і мають у такому випадку точність до 20-30 м, а кути тангажа, керну і рискання обчислюються через вектор швидкості GPS вимірів. Точність кута рискання в такій телеметричній інформації невисока і може перевищувати 10 градусів, а самі значення містять системні похибки, що ускладнює подальшу обробку даних.

Якщо при зйомці використовувався дводіапазонний GPS приймач в диференціальному режимі (або PPP обробка даних GPS), то потребується мінімальна кількість опорних точок для одержання найбільш точних результатів обробки. Зазвичай достатньо 1-2 точки на 100 знімків, у ряді випадків обробку можна виконувати без опорних точок. У разі, коли відсутні точні центри проекції, вимоги до планового-висотного обґрунтування стандартні: одна планово-висотна точка на 6-10 базисів зйомки [18].

Для виявлення залежностей і розробки рекомендацій для зйомки площинних об'єктів з БПЛА розглянемо кожний параметр, який впливає на якість аерознімків, як всередині аерофотосистеми, так і поза нею. На рис. 1.9. можна побачити, від яких основних груп параметрів залежать якість отримуваних з борту аерознімків.



*Рис.1.9. Структура зовнішніх і внутрішніх параметрів Аерофотосистеми*

#### 1.4. Рекомендації щодо забезпечення праметрів польоту і аерофотосистеми

У відповідності з проведеним аналізом параметрів польоту малих БПЛА для виконання аерофотозйомки площини об'єктів були сформульовані основні рекомендації щодо настроювання параметрів польоту, правила виконання польоту, вибору фототехніки, принципах синхронізації зйомки і охоплення польотних даних.

Виходячи з того, що установка на малих БПЛА гіростабілізуючої платформи неможлива через масогабаритну надлишковість корисного навантаження, виникають жорсткі умови по метеоумовах, при яких можливе проведення аерофотозйомки й отримання конденційного матеріалу:

- 1) для уникнення сильних затінь у безхмарну погоду зйомку можна виконувати лише в період часу з 11 до 15 години, а в хмарну погоду в таких обмеженнях потреба відпадає;
- 2) для уникнення значних відхилень курсового кута апарата або зносу з лінії шляху швидкість вітру під час виконання аерозйомки не повинна перевищувати порога в 5м/с;
- 3) для недопущення значних відхилень кута по тангажу і крену, а також для збереження стабільної висоти, аерозйомку потрібно виконувати за умов, коли пориви вітру не перевищують 2-3м/с.

Що стосується принципів польоту і стабілізації зйомки в польоті:

- 1) оскільки перекриття від знімку до знімку вздовж маршруту повинно бути близько 70% а відхилення від цієї цифри не може бути більше 3%, то аерофотозйомка не може бути прив'язана до періоду часу, а повинна бути синхронізована з пройденим шляхом згідно даних GPS;
- 2) для спостереження незмінності курсового кута при аерофотозйомці, знімки, виконані на розвороті із завершеного маршруту і маневр по заходу на сусідній, повинні бути вестись до виходу на прямий маршрут з постійним значенням висоти і курсового кута;

3) побудову маршруту потрібно здійснювати паралельно ізолініями місцевості, Тобто місцевість, що зафіксована аерофотозйомкою вздовж одного маршруту, повинна мати найменший перепад висот.

Максимально допустимі відхилення параметрів польоту БПЛА:

- а) висота  $\pm 3\%$ ;
- б) кут по крену і кут по курсу  $\pm 7^\circ$ ;
- в) кут по тангажу  $\pm 4^\circ$ ;
- г) перекриття знімків вздовж маршруту –  $75\% \pm 5\%$ , між маршрутами  $30\% \pm 5\%$ ;

Параметри фотоапарата, які є обов'язковими для отримання кондинційних аерознімків:

- а) розрізнення зйомки  $\geq 14\text{Mpix}$ ;
- б) розміри фотоматриці: повнокадрова або напівкадрова;
- в) об'єктив: з фіксованою фокусною відстанню, яка приблизно дорівнює діагоналі фотоматриці ;
- г) наявність регульованої діафрагми;
- д) можливість настроювання віддаленого управління;
- ж) швидкість серійної зйомки не нижче 1 кадра за секунду

### **1.5. Застосування фотограмметричної обробки даних аерозйомок з БПЛА**

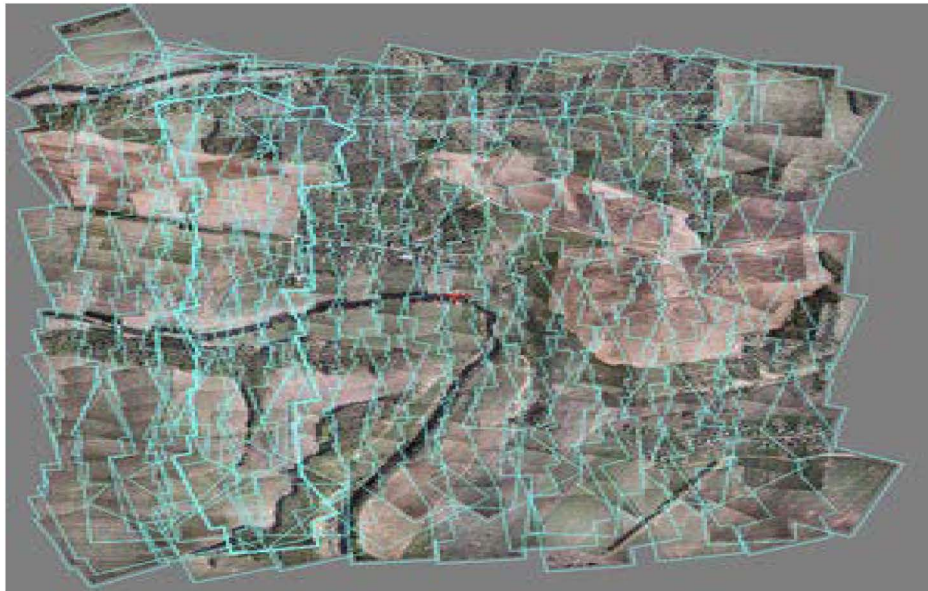
Розглянемо декілька прикладів обробки аерозйомки з БПЛА. У всіх прикладах для обробки використовувалась ЦФС PHOTOMOD. Відзначимо, що різними організаціями для тестування було передано понад 20 блоків аерозйомки з БПЛА. На жаль, для багатьох блоків бути відсутні опорні точки і/або зйомка була виконана невідкаліброваними камерми. У таких випадках було неможливо оцінити точність кінцевих результатів обробки.

Перший блок, був знятий з борту БПЛА ZALA 421-04ф [21]. Блок складався з 26 маршрутів. Загальна кількість знімків у блоці склала 595. Використовувалась попередньо відкалібрована цифрова камера Canon EOS 500D. Висота зальоту над місцевості склала близько 500м, розміри пікселя на місцевості приблизно дорівнював 8 см. На місцевості були виміряні і промарковані 25 опорних точок, точність координат опорних точок не перевищувала 10 см. Загальний перепад висот місцевості протяжністю близько 3-х кілометрів достатньо великий ~ 70-метрів.

Спочатку цей же блок аерозйомки був оброблений в автоматичну режимі за спрощеною схемою, без зрівнювання і використання опорних точок. Прив'язка здійснювалась по центрах проекції, трансформування знімків здійснювалось відразу в програмі PHOTOMOD GeoMosaic без урахування рельєфу. Наступний контроль отриманих “псевдо” ортофотопланів на опорних точках засвідчив розходження на опорних точках, що перевищують 17 м. Така невисока точність ортофотоплану обумовлена як великим перепадом висот, так і неточністю вимірів центрів проекцій в польоті.

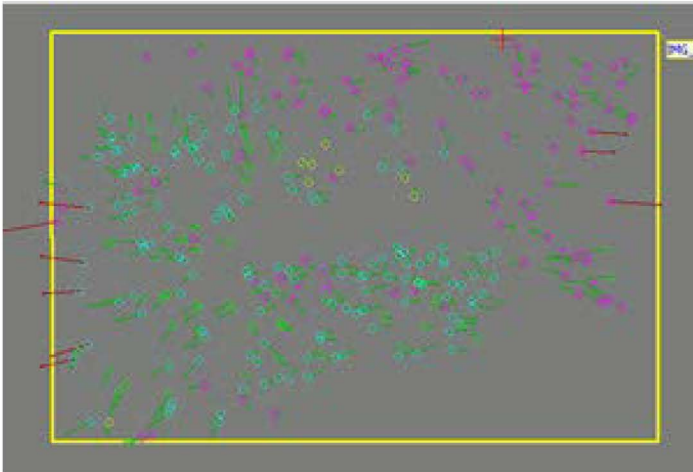
Потім блок був підданий строгій фотограмметричній обробці. При зв'язуванні три з вимірних опорних точок вважались контрольними. Середньоквадратична похибка зрівнювання склала по опорних точках 15 см, 16 см, 12 см, по контрольних точках 23 см, 29 см, і 57 см. Розбіжності на точках зв'язування склали 8 см, 14 см і 69 см. Загальний вид блока представлений на рис. 1.10. [21].





*Рис. 1.10. Загальний вид “блока 1”*

В процесі зрівнювання було виявлено, що координати центрів проєкцій із телеметричної інформації містять систематичну похибку, головна з компонент якої становить 10,5 метра по висоті  $Z$ . Середньоквадратичні похибки на центрах проєкції після віднімання систематичної похибки склали 84 см, 239 см, і 75 см. Істотно велика похибка по осі  $Y$  (вздовж польоту), швидше за все, пов’язана з неточними визначеннями моментів зйомки в телеметрії. Великі похибки по  $Z$  на точках зв’язування мабуть пов’язані з неточним калібруванням камери і з накопиченою похибкою при зйомці камерою зі щилинним затвором. Найбільші похибки на точках зв’язування спостерігаються на краях і в кутах знімків (рис. 1.11.). Подальша обробка блока здійснювалась за стандартною схемою. Був побудований рельєф в автоматичному режимі і зроблено ортотрансформування з урахуванням побудованого рельєфу. Фрагмент побудованого ортофото наведений на рис. 1.12.



**Рис. 1.11.** Величина похибок на точках зв'язування [21]

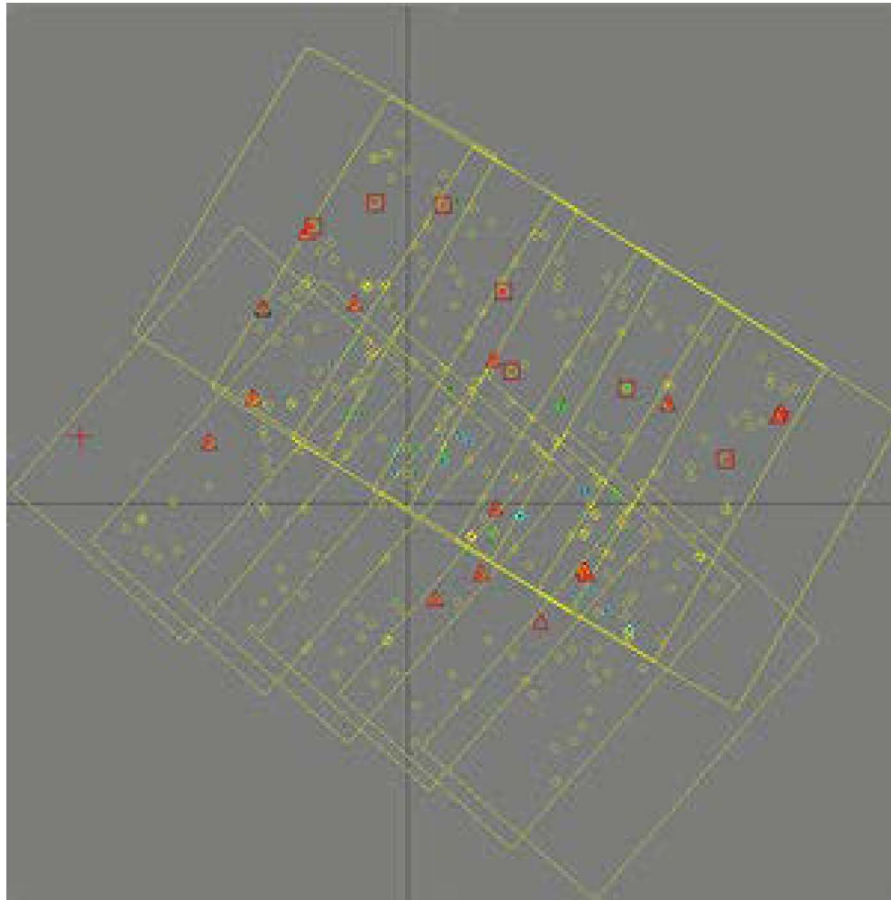


**Рис. 1.12.** Фрагмент ортофотоплану без вирівнювання яскравості [21]

При побудові цього фрагмента спеціально не виключалась функцію вирівнювання яскравості для демонстрації співпадіння когнтурів сусідніх знімків.

В квітні 2011 р. кафедрою фотограмметрії Московського державного університету геодезії і картографії (МІГАіК) були проведені дослідження матеріалів аерофотозйомки, отриманих за допомогою БПЛА Птеро, з метою оцінки якості аерознімальних робіт і фотограмметричної обробки [22]. Зйомка виконувалась з висоти близько 900м над середньою площиною місцевості, що знімались з борту БПЛА Птеро цифровою фотокамерою Canon EOS 5D. Камера була попередньо відкалібрована. Для оцінки якості матеріалів використовувався фрагмент блока, що складався з 2-х маршрутів по 6 знімків у кожному. Як опорні використовувались 14 точок, планові координати XY яких були відзняті з планів масштабу 1:1000, висота Z в визначалась по матеріальних повітряного лазерного сканування, виконаного з точністю близько 20-30 см. Після фотограмметричного зрівнювання середньоквадратичніпогрішності координат на опорних точках склали по X, Y і Z відповідно 20 см, 21 см, і 50 см. Середньоквадратичні погрішності координат точок зв'язування склали 6 см, 6 см, 15 см. Розмір пікселя на

місцевості для цього блока GSD складав близько 12 см. Загальна схема блока представлена на рис. 1.13.



*Рис. 1.13. Схема “блоку 2” з опорними точками і точками зв’язку*

Результати проведених досліджень свідчать про доволі високу якість аерознімальних матеріалів, що отримуються за допомогою БПЛА і про можливість використання знімального комплексу БПЛА для проведення аерознімальних робіт, що виконуються для створення топографічних карт і планів різних масштабів, у тому числі і кропномаштабних.



## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС

### 2.1. Правовий статус використання БПЛА

Європейське агентство з безпеки польотів докладає зусиль, щоб врегулювати використання безпілотників в спільному європейському просторі. Більш того, міжнародна група експертів працює над розробкою стандартів для БПЛА, включаючи безпечну інтеграцію малих і великих БПЛА в повітряний простір і аеропорти. Хоча Україна і не є членом цієї організації, вона, як частина міжнародного повітряного простору, зобов'язана забезпечувати безпечні умови для цивільної авіації. Більш того, як майбутній член спільного європейського неба, Україна повинна ввести нове законодавство відповідно до європейських стандартів.

Варто зазначити, що в сучасному законодавстві існує дефініція БПЛА, але їх використання не є окремо врегульованих і частково описується як складової широкої групи громадянської і комерційної авіації, відповідно до нормативно-правовим регулюванням повітряного простору. В цілому, спеціальні регулятивні документи щодо польотів БПЛА, сертифікації, атестації операторів, а також інтеграції в сферу управління повітряного руху, відсутні.

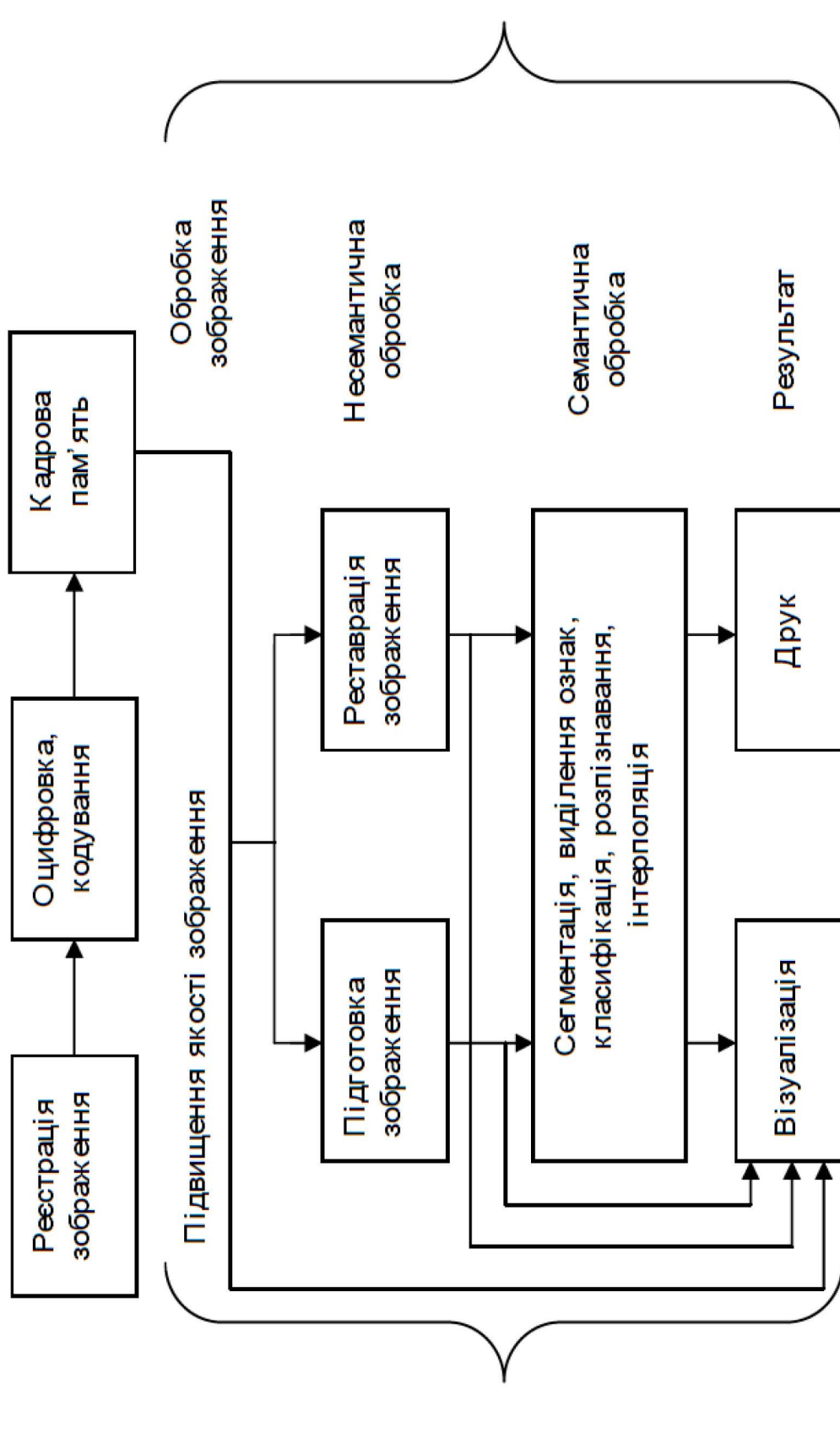
На даний момент БПЛА підпадають під регулювання наступних нормативно-правових актів: Повітряного кодексу України, Правил реєстрації цивільних повітряних суден в Україні, Положення про використання повітряного простору України, Правилами польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України. «Безпілотних повітряне судно» визначається там як повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюється за допомогою спеціальної станції керування, розташованої поза повітряного судна.

Такі БПЛА повинні перебувати в Реєстрі цивільних повітряних суден України. Однак, БПЛА, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кілограмів і які використовуються для розваг та спортивної діяльності не вимагають реєстрації.

Як і іншим цивільним повітряним суднам, зареєстрованим БПЛА заборонено здійснювати польоти в певних зонах, а саме: захищених (урядові будівлі, промислові об'єкти), з обмеженим доступом (військові, прикордонний контроль, дослідні станції і т.п.) або зарезервованими для інших літальних об'єктів. Користувачі, зацікавлені в специфічних зонах, повинні направляти запит до Державного підприємства обслуговування повітряного руху України.

Підсумовуючи, можна сказати, що є чітке обмеження використання дронів на великих висотах, де вони можуть порушити узгоджені маршрути літаків і інших повітряних суден. Навпаки, дрони, які важать менше 20 кг, не вимагають реєстрації або будь-якого дозволу на польоти від державних органів. Більш того, немає обмеження на використання безпілотників в містах для особистих потреб, крім як в стратегічно важливих для держави зонах з обмеженим доступом.

## 2.2. Технологічна схема виконання аерознімальних робіт



### 2.3. Принципи обробка матеріалів аерознімання

Задачею обробки матеріалів аерознімання являється сучасного надання повної та достовірної інформації авторизованим споживачам [20]. Тракт проходження даних аерознімання включає збір, прийом або доставку, обробку, дешифрування, документування та розподілення видової інформації. Сучасні системи обробки матеріалів аерознімання створюються виключно на основі цифрових технологій. Впровадження цифрових технологій в обробку матеріалів аерознімання забезпечує підвищення її ефективності, гнучкість і оперативність, істотне збільшення інформативності вихідних документів.

Процес обробки матеріалів аерознімання прийнято ділити на шість основних ступенів:

- 1) відновлення
- 2) попередня обробка
- 3) дешифрування
- 4) фотограмметрична обробка
- 5) аналіз та узагальнення
- 6) документування

Оскільки дані аерознімання надходять від БПЛА в цифровому вигляді, то для них обробки можна безпосередньо використовувати сучасні комп'ютерні технології. Обробка цифрових аерознімання базується на матричних діях з растровими масивами.

Сучасні системи цифрової обробки матеріалів аерознімання являють собою результат розвитку програмних засобів цифрової обробки зображень загального

призначення (графічний редактор). Вони працюють з растровою моделлю даних, використовують схожі методи обробки зображень. Однак, слід відзначити і ряд суттєвих відмінностей, пов'язаних зі специфікою цифрових аерознімків:

це файли дуже великого розміру, для ефективної роботи з якими необхідні спеціальні засоби управління пам'яті обчислювальної системи і особливі формати даних;

це багатовимірні дані, число і параметри спектральних зон знімання яких не дозволяють трактувати їх як РГБ зображення; крім того, можуть використовуватися ще й інші додаткові виміри;

цифрові аерознімки потребують попередньої радіометричної корекції, калібруванню й геометричній корекції;

цифрові аерознімків припускають можливість швидкого переходу від попередньої обробки і тематичного дешифрування до виконання операцій моделювання та просторового аналізу засобами геоінформаційних систем (ГІС).

Основною задачею є відновлення цифрових аерозображень є виправлення одержуваних сирих даних для досягнення об'єктивно правильного зображення земної поверхні. Сирі дані цифрового аерознімання містять цілий ряд випадкових і систематичних спотворень, пов'язаних з фізичними характеристиками датчиків і каналів зв'язку, впливом атмосфери, рухом носія і т.д. Для усунення цих спотворень виконується радіометрична корекція, калібрування та геометрична корекція даних.

Радіометрична корекція усуває систематичні спотворення, внесені датчиками і пристроїв передачі і прийому даних. Крім того, коректується спектральне розподілення електромагнітних сигналів з урахуванням спектрального пропускання атмосфери, оптичної системи і світлофільтрів.

Калібрування полягає в перетворенні реєстрованих безрозмірних цифрових даних в достовірні значення вимірюваної фізичної величини.

Геометрична корекція призначена для виправлення викривлень, спричинених еволюціями носія, рельєфом місцевості і т.д. Цей вид корекції краще інших піддається автоматизації завдяки використанню прецизійного навігаційної інформації. Більш точне трансформування та прив'язка цифрових аерознімків виконується на етапі фотограмметричної обробки по системі опорних точок місцевості.

### **2.3.1. Попередня обробка матеріалів аерознімання**

Основне завдання попередньої обробки - модифікація цифрових аерознімання з метою поліпшення зорового сприйняття або перетворення його у форму, більш зручну для подальшого візуального або комп'ютерного дешифрування.

У відповідності з особливостями організації обробки даних операції цієї групи можна розбити на кілька типів. До першого типу відносяться модифікації значень кожного окремого пікселя, що виконуються, як правило з використанням табличного способу представлення перетворюючої функції. Різні види лінійного і нелінійного контрастування, призначені для поліпшення візуального сприйняття зображень, являються характерними представниками даних перетворень. Наступний тип - це локальні операції, особливістю якого є модифікація значення кожного елемента зображення з використанням значень сусідніх пікселів в деякому обмеженому оточенні. Типовими перетвореннями цієї групи є операції фільтрації зображень. Згладжують або низькочастотні фільтри дозволяють усунути шум, отримати більш однорідні ділянки зображення, придатні для подальшої обробки з метою виявлення тих чи інших об'єктів. Високочастотні фільтри використовуються для виявлення або підкреслення перепадів на зображенні при пошуку меж об'єктів і виявленні різних структур, що характеризуються зрушеннями або стрибками яскравості. Часто використовуються у гістограмні операції, базуються на статистичних характеристиках всього зображення. Ще один тип операцій попередньої обробки призначений



для створення колірних композицій цифрових зображень оптимальних для візуального сприйняття. Ця група перетворень дозволяє формувати кольорові зображення в натуральних і умовних кольорах, що є одним із способів обробки багатозональних цифрових аерознімків.

### **2.3.2 Фотограмметрична обробка матеріалів аерознімання**

Для матеріалів цифрової аерознімання використовуються цифрова фотограмметрична обробка при допомозі спеціальних фотограмметричних програм. Основними завданнями цифрової фотограмметричної обробки є перетворення геометричних характеристик знімків, побудова фото-триангуляції, генерація цифрових моделей рельєфу місцевості, виробництво ротофото-планів, створення топографічної основи різних карт, проєктивне моделювання. Перетворення геометричних характеристик цифрових зображень включають монтаж зображень з окремих знімків або їх фрагментів, вирізування потрібних фрагментів, масштабування зображень, трансформування знімків до якої-небудь картографічної проєкції. У процесі трансформування відбувається перерахунок значень пікселів на нову сітку растра, при цьому форми об'єктів на зображенні в більшій чи меншій мірі змінюються, а рамка знімка із зазвичай прямокутної перетворюється в паралелограмну, трапецієподібну або більш складної форми з криволінійними границями. Найчастіше для спільної обробки матеріалів різних видів аерознімання, а також різночасних знімків однієї і тієї ж території використовується спеціальна проєкція, звана цифровим ортопланом і застосовувана у світовій практиці в якості обмінного стандарту.

Фотограмметрична обробка використовує наступні основні операції:

топографічну прив'язку знімків по навігаційним даними з можливістю нанесення сітки;

топографічну прив'язку знімків по опорним точкам місцевості з абсолютною точністю до 1-2 проєкцій пікселя;

трансформування цифрових аерознімків в одну з основних картографічних проєкцій, таких як рівно-кутова проєкція Гауса-Крюгера, пряма рівно-кутова циліндрична проєкція Меркатора, рівно-кутова азимутальна проєкція, рівно-кутова конічна проєкція Ламберта, універсальна поперечна проєкція Меркатора;

широкоформатний друк трансформованих зображень на принтері в заданому масштабі;

створення мозаїк знімків, що покривають задану територію, з перетворенням в задану картографічну проєкцію.

Найбільш суворим підходом до фотограмметричної обробки цифрових аерознімків виступає моделювання знімання. в результаті якого відновлюється просторове положення сукупності променів, що сформували знімком. Цей метод передбачає визначення траєкторії носія, орієнтації камери, а також використання елементів внутрішнього орієнтування-геометричної моделі сенсора. Ця модель визначає для кожного детектора лінійки (матриці) ПЗС одиничний спрямовує вектор в деякій системі координат, пов'язаної з камерою, променя, реєстрованого даними детектором. Динамічний характер знімання істотно ускладнює уточнення параметрів цієї моделі по опорним точкам в процесі орієнтування знімка, особливо для знімків високо дозволу. В якості альтернативи суворому підходу до фотограмметричної обробки розглядається метод раціональних функцій, який має Апроксимаційні, а не моделюючий характер. У комплект постачання деяких типів цифрових аерознімальних систем входять попередньо розраховані значення апроксимаційних фотограмметричних коефіцієнтів. Ці значення визначаються за наявними у виробника суворим геометричним моделям сенсорів і

результатами експериментальних траєкторних вимірювань. Можливе відновлення апроксимуючих коефіцієнтів по системі наземних опорних точок.

### **2.3.3. Дешифрування аерознімання**

В залежності від застосовуваних засобів обробки та аналізу аерозображень виділяють наступні методи дешифрування:

візуальний, в якому інформація, укладена в знімках, витягується і аналізується людиною;

автоматизований, в якому аналіз цифрових аерозображень виконується спеціалізованими інтерактивними програмами за активної участі оператора;

автоматичний, при якому дешифрування цілком виконується інтерпретаційними програмами.

В основу комп'ютерного візуального дешифрування покладено нагляд чотиривимірні (дві простягни просторових координати, тимчасова) або п'ятимірних (Додатково розподіл умовних кольорів зображення при багатозональній знімання) масивів даних, що описують потоки випромінювання, відбиті від елементів ландшафту і об'єктів місцевості. Тематична обробка зображення містить у собі логічні і арифметичні операції, сегментацію, класифікацію, лінеаментного аналізу та інші методичні прийоми. Сюди ж слід віднести візуальне дешифрування зображення на моніторі за допомогою стереоефекта. Широкі можливості відкриває автоматична класифікація багатозональних зображень. Класифікація ґрунтується на тому, що різні об'єкти знімання мають розрізняються спектральні сигнатури. Аналіз спектральних сигнатур об'єктів дозволяє структурно-матеріальні комплекси (соціальні, виробничі та військові) і конкретні природні та техногенні об'єкти.

При автоматизованому дешифруванні додатково можливо моделювання полів сигналів на вході приймальної апаратури аерознімальних систем і операції

розпізнавання образів. Цей загальний набір прийомів в основному відтворює технологічні операції, сформовані при аналоговій обробки матеріалів аерознімання.

Класифікація - це тематична обробка аерозображень, що дозволяє виконувати їх автоматизовану розбивку на однорідні по деякому критерію області (класи об'єктів, сегменти). Що виходить при цьому зображення називається растровим тематичної картою. Оскільки зазвичай виділяють змістовно інтерпретовані класи об'єктів, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування цифрових аерознімків. Що виходить при цьому зображення називається растровим тематичної картою. Оскільки зазвичай виділяють змістовно інтерпретовані класи об'єктів, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування цифрових аерознімків.

Класифікація найчастіше ґрунтується на статистичному аналізі різних д дешифровочних характеристик зображення: просторових, спектральних або тимчасових. До просторовим характеристикамносяться форма, тінь, текстура, структура та контекст. Під тимчасовими характеристиками розуміють сезонні і антропогенні зміни земних покривів (особливо рослинності), які, можуть служити індикаторами об'єктів спостереження. Однак припливу вважати, що основну інформацію про природу об'єктів земної поверхні містять їх спектральні сигнатури.

Розрізняють два основних методологічних підходи до проведення класифікації: класифікацію з навчанням і автоматичну класифікацію. У разі класифікації з навчанням завдання полягає у виявленні на зображенні об'єктів уже відомих типів, яке вимагає деяких попередніх знань про досліджуваному районі.

Кластеризація - об'єднання елементів зображення в статистично однорідні групи - кластери, наприклад, по близькості їх спектральних сигнатур.

Кластеризація - об'єднання елементів зображення в статистично однорідні групи - кластери, наприклад, по близькості їх спектральних сигнатур.

У ході кластерного аналізу намагаються визначити всі типи зустрічаються об'єктів при деякому рівні узагальнення, а завдання їх смислової інтерпретації вирішується на наступному етапі.

Часто виникає необхідність тематичної корекції результатів класифікації, особливо автоматичної. Для цього виконується цілий набір процедур, званих операціями пост класифікації: злиття чи поділ деяких класів, верифікація та усунення помилкових об'єктів, уточнення кордонів складності об'єктів.

За наявності необхідних вихідних даних обов'язково проводиться аналіз змін об'єктів знімання по серії різночасних знімків. Важливим етапом у процесі класифікації є оцінка точності отриманих результатів, яка може виконуватися як за зовнішніми даними, так і шляхом аналізу і логічного висновку з наявних.

До спеціалізованого військового дешифрування відносяться виявлення і розпізнавання специфічних штучних об'єктів військово-політичного, військового або військово-промислового призначення. Зазвичай такі виявляються по їх характерними особливостями - розпізнавальним ознаками.

#### **2.3.4. Документування матеріалів аерознімання знімка**

Проведення автоматизованого тематичного редагування і документування цифрових аерозображень полягає в нанесенні на них найменувань, облікових номерів, назв районів знімання, кодів, умовних позначень і назв об'єктів та їх елементів; заповнення звітних форм і полів легенд; маркування важливих і ландшафтно-утворюючих об'єктів природного та штучного походження (водойм, лісів, сільськогосподарських угідь, промислових зон, житлової забудови і т.д.);

формування інформаційних зв'язків і необхідних проміжних масивів перерахування топографічних даних; анотування даних про умови ведення аерознімання: типу і кодового номера носія, дати і часу знімання, параметрів польоту, відомостей про роботи аерознімальних систем (тип, режим, спектральні зони і умови знімання), встановленні грифа, власника і рівнів доступу до документації.

Оскільки сучасні ГІС мають набагато потужніші і гнучкі засоби редагування, ніж програмний пакет цифрової обробки і дешифрування растрових аерознімання, то тематичне документування доцільно виконувати вже після їх інтеграції в ГІС. Цифрові аерознімки можуть виступати фоновою основою при витяганні з ГІС різноманітної просторової інформації - векторних тематичних карт, планів етапів операцій.

Застосування БПЛА дасть можливість оперативно виконувати аерознімання запроєктованої місцевості та дасть можливість отримати об'єктивні дані про наявність будов на території, оскільки зображення є і залишається реальним документом завдяки якому завжди можна впевнитися про положення і конфігурацію границь ділянки.

Як вже підкреслювалось вище застосування БПЛА надасть можливість забезпечити великомасштабними планами землевпорядні організації, а оскільки плани ділянок будуть створюватися стереофотограмметричним методом то це в свою чергу виключить суб'єктивність відображення території та дасть можливість наочного контролю границь меж.

## **РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ПЛАНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС**

### **3.1. Загальні відомості про ортофотоплани**

Ортофотоплан, фотографічний план місцевості на точній геодезичній опорі, отриманий дорогою аерофотознімання з подальшим перетворенням аерознімків (з центральної проекції в ортогональну) на основі ефективного методу їх диференціального ортофототрансформовування, розробленого в середині 60-х рр. 20 ст. Останній, на відміну від відомого методу трансформації аерознімків по



зонах, в. розрахований на автоматизоване усунення спотворень аерознімка (обумовлених рельєфом місцевості і відхиленнями осі аерофотоапарата від вертикалі при зйомці) шляхом послідовного проектування трансформованого зображення можливо малими ділянками за допомогою спеціальних приладів — ортофотопроекторів. Аерознімки, перетворені даним методом (т.з. ортофотоснімки) дозволяють скласти ортофотоплан на будь-які райони, що істотно розширює вживання аерофотозйомочних матеріалів при топографічних, геологічних і ін. проектно-дослідницьких роботах.

### 3.2. Створення проекту польоту в програмі **Mission Planer**

1. Відкриваємо програму **Mission Planer**, переходимо у вкладку **Flight Plan**. Визначаємо ділянку, на якій необхідно виконати знімання. У якості підкладки можна вибрати космічні знімки з різних серверів, список яких розташований у правій частині вікна.

2. Переходимо до пункту **Draw Polygon - Add Polygon Point**, натиснувши правою кнопкою миші. Додаємо стільки точок, скільки необхідно, щоб виділити площу знімання. При натисканні на точку полігону і утриманні, її можна пересувати. Якщо необхідно видалити точку, правим натисканням вибираємо пункт видалити точку **Delete WP**.

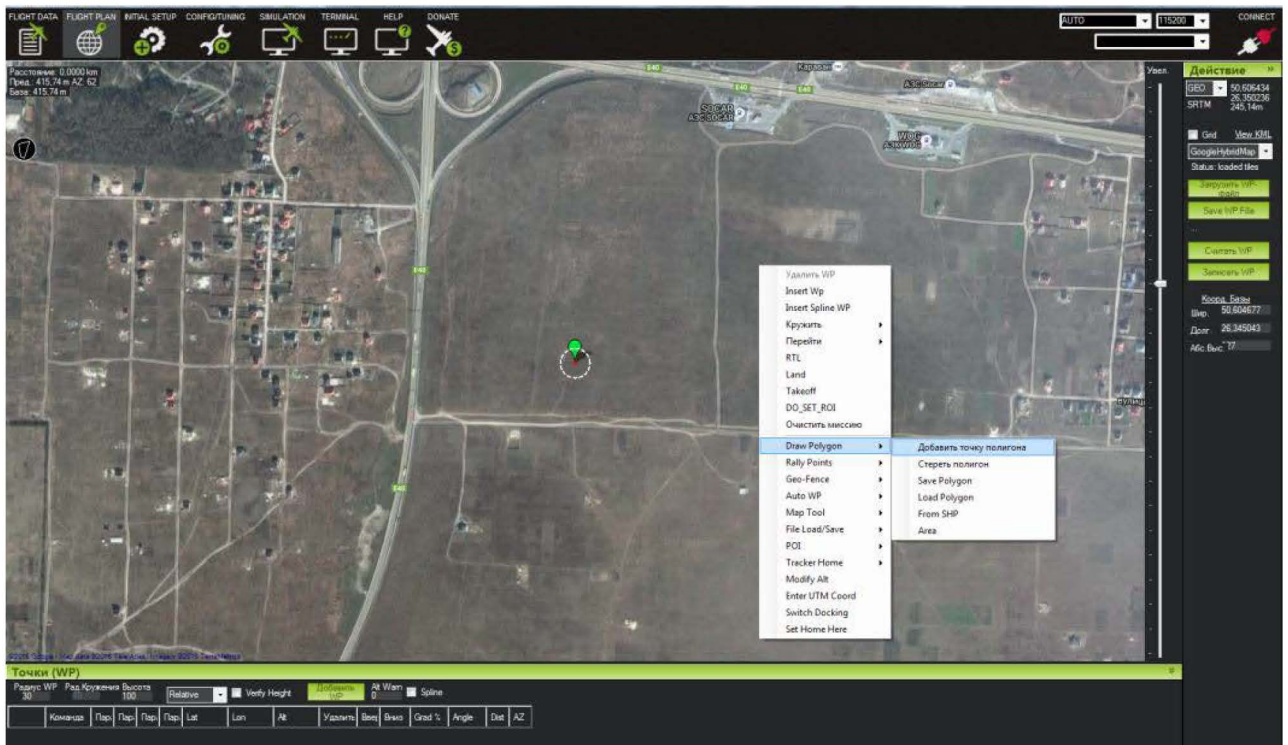


Рис. 3.1. Вибір ділянки знімання

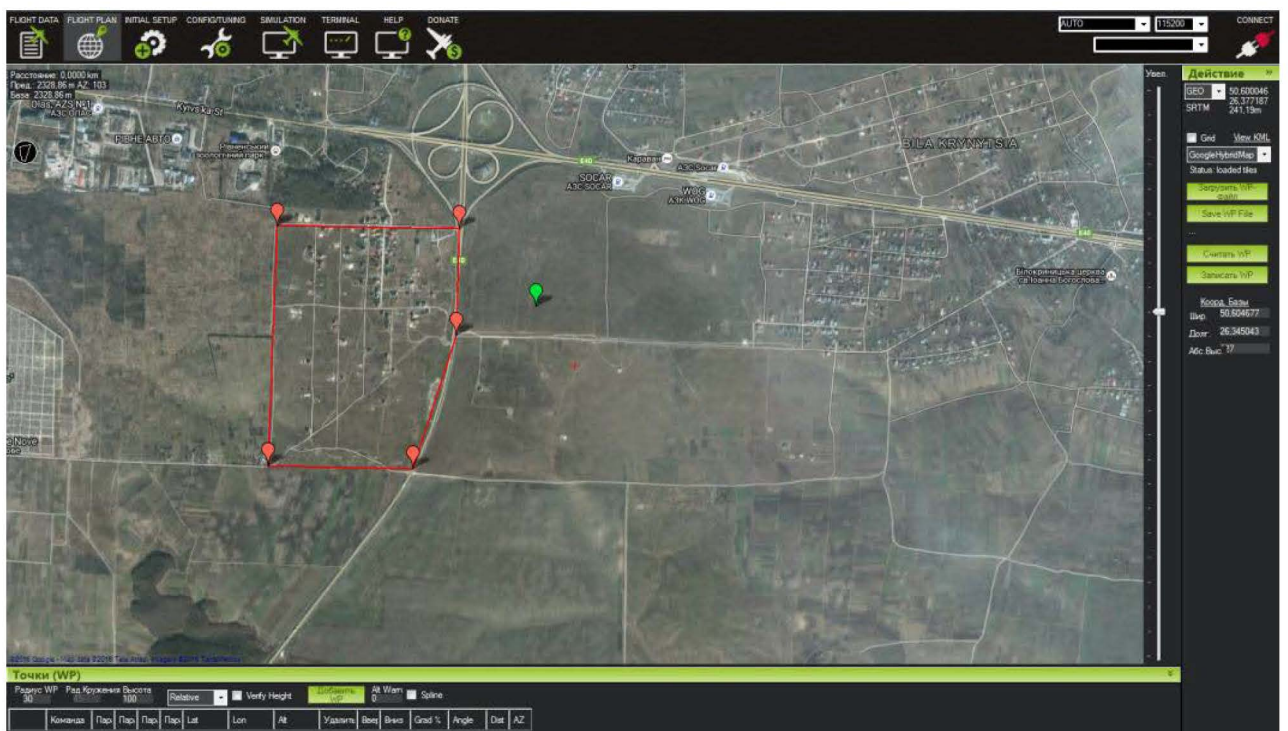


Рис. 3.2 Окреслення меж ділянки робіт

3. Після виділення меж полігону переходимо до побудови маршруту. Для цього у пункті **Auto WP** контекстного меню вибираємо підпункт **Survey (Grid)**. У новому вікні буде автоматично згенерований маршрут польоту.

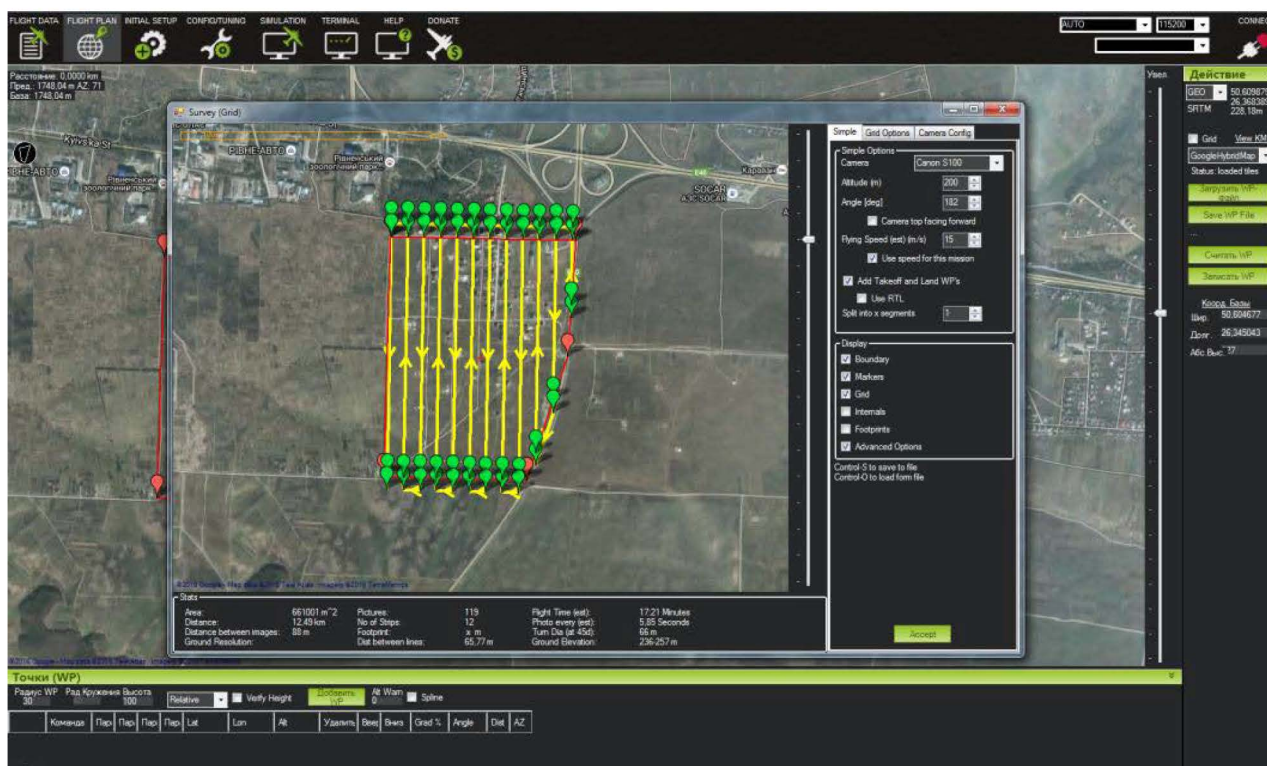


Рис. 3.3. Проектування маршрутів зальоту

4. Вирівнюємо маршрути таким чином, щоб довші їх ділянки пролягали перпендикулярно до напрямку вітру, а розвороти при заході на наступний маршрут повинні виконуватись проти вітру. Для вирівнювання маршруту треба скористайтесь графою **Angle (deg)** у вкладці **Simple** і встановити відповідне значення. (В даному прикладі значення = 182о).

5. У вкладці **Simple** встановлюємо значення висоти польоту **Altitude (m)**. Від даного значення будуть залежати роздільна здатність знімків на місцевості і кількість маршрутів.

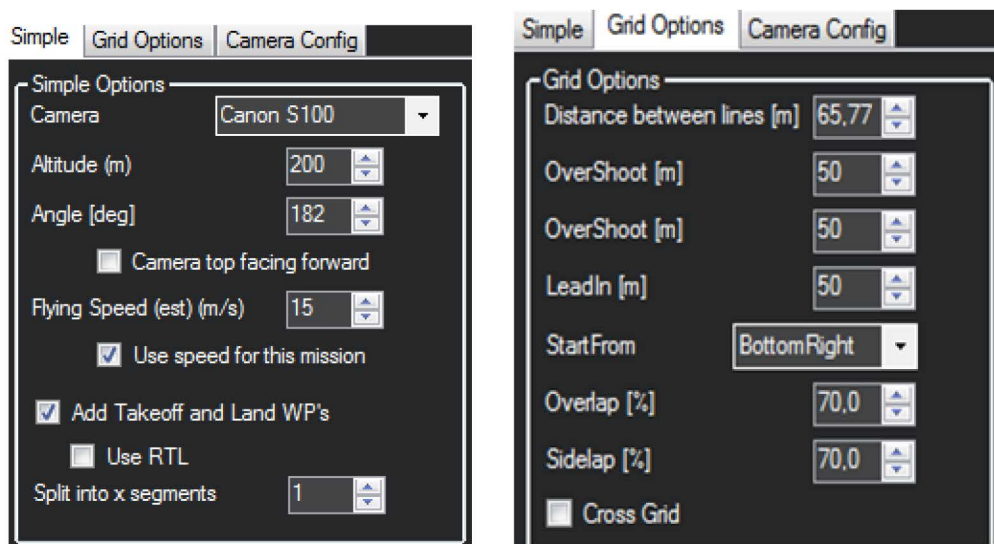
6. У правому верхньому кутку, в графі **Camera** вибираємо модель камери, яка буде використовуватися. Якщо камера встановлюється уздовж платформи, як в даному прикладі, графа **Camera top facing forward** не повинна бути активною.



7. Встановлюємо значення середньої швидкості польоту **Flying Speed (est) (m/s)** (рекомендована 15м/с). Графа **Use speed for this mission** повинна бути активною.

8. Додаємо точки зльоту і посадки, для цього графа **Add Takeoff and Land WP's** повинна бути активною.

9. Відкоригуємо параметри вкладки **Grid Options**, встановивши значення поздовжніх і поперечних перекриттів для знімків, що в свою чергу зменшує або збільшує кількість маршрутів. Рекомендовані значення: 70% для Overlap (Поздовжнє) і 70% для Sidelap (Поперечне). Крім значення перекриттів слід збільшити довжину маршрутів за межами ділянки знімання для виконання розворотів БПЛА та заходу на новий маршрут. Для цього в полях **OverShot** та **LeadIn** рекомендується задати відстані по 50 м. У полі **Start From** є можливість вказати з якого краю починати знімання. Слід обрати такий варіант, при якому розвороти будуть здійснюватись проти вітру.



*Рис. 3.4. Налаштування параметрів зальоту*

Всі польотні характеристики і параметри зйомки будуть відображені в нижній частині вікна.

| Stats                    |                       |                     |                 |                    |               |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| Area:                    | 677174 m <sup>2</sup> | Pictures:           | 115             | Flight Time (est): | 16:50 Minutes |
| Distance:                | 12.12 km              | No of Strips:       | 11              | Photo every (est): | 5.85 Seconds  |
| Distance between images: | 88 m                  | Footprint:          | 292,3 x 219,2 m | Turn Dia (at 45d): | 66 m          |
| Ground Resolution:       | 7,31 cm               | Dist between lines: | 65,77 m         | Ground Elevation:  | 236-257 m     |

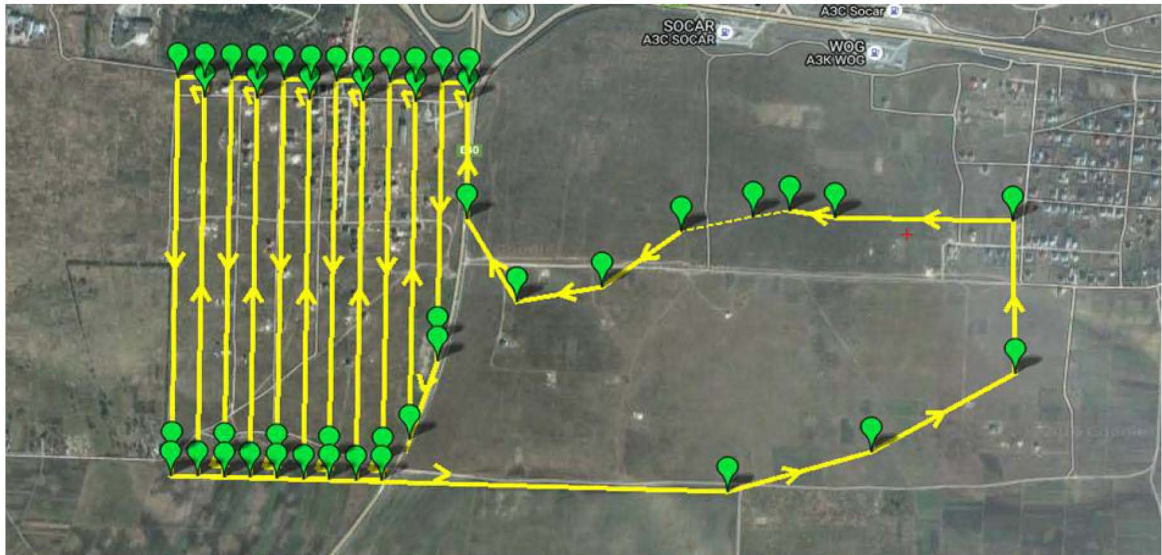
*Рис. 3.5. Польотні характеристики і параметри зйомки*

10. Повертаємось у вкладку **Simple** і натискаємо **Accept**. Програма повернеться в пункт меню **Flight Plan** і на схемі з'явиться точка **H** (Home) - точка, з якої планується запуск БПЛА та його посадка. Цю точку необхідно розташувати на відкритому просторі майданчику, щоб забезпечити безпечний зліт і посадку БПЛА.

11. Змінюємо значення стовпця **Pitch Angl** для точки 1 TAKEOFF на 30о.

12. Запроектуємо додаткові точки для виконання зльоту проти напрямку вітру та забезпечення плавного набору висоти. Для цього викликаємо контекстне меню правою кнопкою миші та виконуємо команду **Insert Wp**. В стовпці **Alt** встановлюємо висоту точки 30-40 м і переміщуємо її в протилежному до вітру напрямку на таку відстань, щоб значення в стовпці **Grad%** не перевищувало 25%. Аналогічним чином проектуємо наступні додаткові точки до початкової точки маршруту знімання, з таким розрахунком, щоб кут зльоту між ними не перевищував 25%. Коригувати кут набору висоти можливо зближенням або віддаленням заданої точки щодо попередньої в маршруті. Усі точки на маршруті знімання мають однакову висоту, вибрану у попередніх пунктах.

13. Проектування посадки БПЛА. Для цього після останньої точки маршруту знімання вставляємо додаткові точки, поступово знижуючи їх висоти, таким чином, щоб кут посадки стовпці **Grad%**на кожній ділянці не перевищував 15%. Висота останньої точки перед посадкою 10 м. Посадку, як і зліт, потрібно виконувати проти вітру.



*Рис. 3.6. Проектування зльоту і посадки БПЛА*

| Точки (WP) |          |           |               |        |            |               |             |          |        |      |        |       |        |     |
|------------|----------|-----------|---------------|--------|------------|---------------|-------------|----------|--------|------|--------|-------|--------|-----|
|            |          | Радіус WP | Рад. Круження | Висота | Relative   | Verify Height | Добавить WP | Alt Warn | Spline |      |        |       |        |     |
|            | Команда  |           |               |        |            |               |             |          |        |      |        |       |        |     |
|            |          |           |               |        | Lat        | Long          | Alt         | Удалить  | Вверх  | Вниз | Grad % | Angle | Dist   | AZ  |
| 1          | TAKEOFF  | 30        | 0             | 0      | 0          | 0             | 0           | X        | 🏠      | 🏠    | 0      | 0     | 0      | 0   |
| 2          | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,6044046 | 26,3481331    | 40          | X        | 🏠      | 🏠    | 21,8   | 12,3  | 183,3  | 257 |
| 3          | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,6030564 | 26,3453650    | 100         | X        | 🏠      | 🏠    | 24,4   | 13,7  | 246,2  | 232 |
| 4          | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,6027159 | 26,3423395    | 150         | X        | 🏠      | 🏠    | 23,1   | 13,0  | 216,9  | 260 |
| 5          | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,60471   | 26,34056      | 200         | X        | 🏠      | 🏠    | 19,6   | 11,1  | 254,8  | 330 |
| 6          | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,607499  | 26,340639     | 200         | X        | 🏠      | 🏠    | 0,0    | 0,0   | 310,2  | 1   |
| 40         | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,598559  | 26,330163     | 200         | X        | 🏠      | 🏠    | 0,0    | 0,0   | 49,9   | 181 |
| 41         | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,598167  | 26,349764     | 200         | X        | 🏠      | 🏠    | 0,0    | 0,0   | 1384,1 | 92  |
| 42         | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,5991339 | 26,3548279    | 150         | X        | 🏠      | 🏠    | -13,4  | -7,6  | 373,2  | 73  |
| 43         | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,6009999 | 26,3599133    | 100         | X        | 🏠      | 🏠    | -12,1  | -6,9  | 414,6  | 60  |
| 44         | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,6046498 | 26,3598275    | 50          | X        | 🏠      | 🏠    | -12,3  | -7,0  | 405,9  | 359 |
| 45         | WAYPOINT | 0         | 0             | 0      | 50,6047315 | 26,3535404    | 10          | X        | 🏠      | 🏠    | -9,0   | -5,2  | 443,8  | 271 |
| 46         | LAND     | 0         | 0             | 0      | 50,6048813 | 26,3519740    | 0           | X        | 🏠      | 🏠    | -8,9   | -5,1  | 111,8  | 279 |

*Рис. 3.7. Параметри запроєктованих точок маршруту*

14. Перевіряємо усі параметри та зберігаємо запроєктований маршрут на комп'ютер (Save WP File).

### 3.3. Створення топографічних планів

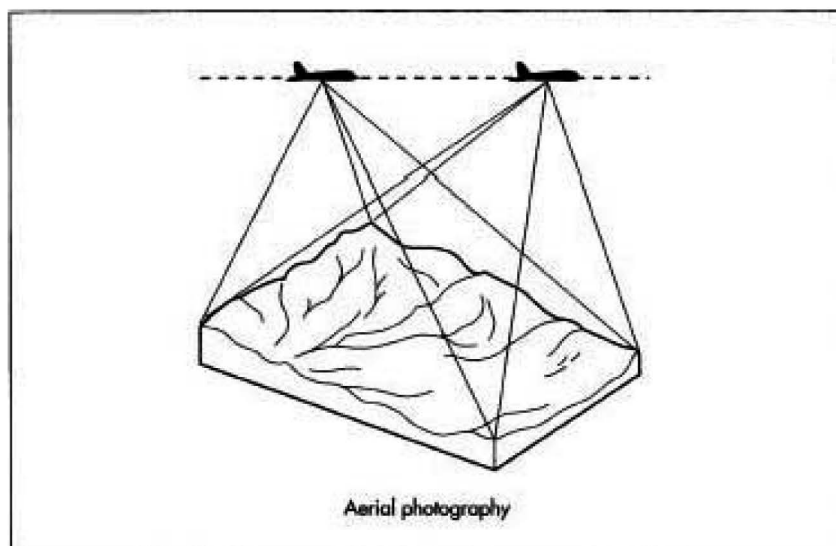
Топографічна карта - це двовимірне зображення тривимірної поверхні землі. Топографічні карти відрізняються від інших карт тим, що вони показують як горизонтальне, так і вертикальне положення місцевості. Завдяки поєднанню контурних ліній, кольорів, символів, міток та інших графічних зображень топографічні карти зображують форми та розташування гір, лісів, річок, озер, міст, доріг, мостів та багатьох інших природних та техногенних рис. Вони також містять цінну довідкову інформацію для геодезистів та картографів, включаючи позначки стенда, базові лінії та меридіани та магнітні відхилення. Топографічні карти використовуються інженерами-будівельниками, менеджерами з охорони навколишнього середовища та містобудівниками, а також любителями на природі,

Складання точної топографічної карти - це довгий і складний процес, який може зайняти аж п'ять років від початку до кінця. Для створення гарної карти потрібна кваліфікована команда геодезистів, граверів, перевіряльників фактів, принтерів та інших. Ось типова послідовність операцій, що використовуються Геологічною службою США для створення топографічної карти чотирикутника в 7,5 хвилин.

#### ***Фотографування місцевості***

1. Зона, яку потрібно картографувати, спочатку слід сфотографувати з повітря. Кожен відрізок землі фотографується з двох різних кутів, щоб отримати стереоскопічне тривимірне зображення, яке можна перетворити на контурні лінії. Небо повинно бути ясным, а сонце повинно знаходитись під відповідним кутом для типу місцевості, що фотографується.





Кожен відрізок землі фотографується з двох різних кутів, щоб отримати стереоскопічне тривимірне зображення, яке можна перетворити на контурні лінії.

Сезонні фактори також повинні бути враховані. Наприклад, у районах, де є листяні дерева, фотографії зазвичай робляться між пізньою осінню та ранньою весною, коли дерева голі, а основні риси ґрунту видніші.

2. Літак пролітає над районом на постійній висоті в напрямку північ-південь по ретельно визначених траєкторіях польоту, тоді як спеціальні камери роблять 10 точно розміщених фотографій кожного чотирикутника. Кожна камера може коштувати 250000 доларів або більше.

### ***Обстеження контрольних точок***

3. Для забезпечення точності карти слід встановити точне розташування різних контрольних точок за допомогою польових обстежень. Типовими пунктами управління можуть бути перехрестя двох доріг або інші визначні особливості в межах карти. Горизонтальні точки управління обстежуються для визначення довготи та широти, тоді як вертикальні контрольні точки обстежуються окремо для визначення висот. Розташування та висота цих контрольних точок допомагають картографістам правильно розміщувати аерофотознімки та присвоювати значення контурним лініям.

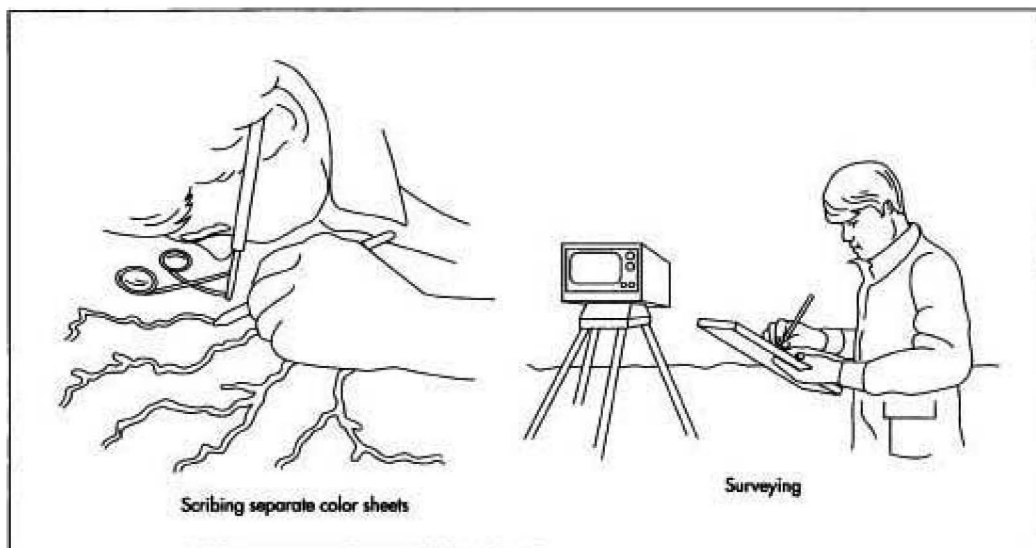
4. Поки геодезисти знаходяться в полі, вони також шукають особливості, які можуть потребувати додаткової перевірки, наприклад, дороги чи потоки, приховані під навісним листям, або споруди, які, можливо, були побудовані чи знесені з моменту зйомки аерофотознімків.

### *Перевірка особливостей карти*

5. Деякі функції карти можуть потребувати додаткової перевірки. Наприклад, деякі потоки можуть працювати лише з перервами, і в цьому випадку вони будуть представлені на карті тире-крапкою або легшою вагою замість суцільної лінії. Деякі дороги можуть виявитися приватними дорогами, а не дорогами загального користування, і вони повинні бути розмічені. Польові шашки заходять у місцевість та перевіряють ці особливості, спілкуючись із місцевими жителями чи консультуючись із місцевими документами власності. Будь-які сумнівні ознаки, відмічені бригадами опитування, також повинні бути перевірені. Необхідно визначити правильність написання топонімів.

### *Складання рукопису карти*

6. Після обстеження місцевості та перевірки всіх особливостей пари перекриваються аерофотознімків поміщаються в стереоскопічний проектор. Одне зображення проектується на ліве око оператора, а інше - на праве око. В результаті виходить тривимірний вигляд місцевості. Два маленькі промені світла з'єднані з вказівником і налаштовані так, щоб перетинатися в крихітній білій крапці, що відповідає заданій висоті на тривимірному зображенні місцевості. За



Для забезпечення точності карти необхідно встановити точне розташування різних контрольних точок за допомогою польових обстежень. Для кожного використовуваного кольору робиться окремий лист.

Пересуваючи вказівник, зберігаючи два пучки зосередженими в крапці, оператор відстежує кожну контурну лінію землі та розташування різних ознак. Вказівник з'єднаний з ручкою на таблиці калювання, яка малює контур або функцію, що відстежується. Всі контури та особливості в цей момент малюються чорним кольором. Цей процес називається складанням манускрипту карти.

7. Коли відстеження завершено, готовий рукопис карти фотографується, і робиться негативний фільм розміру карти. Цей негатив фотохімічно відтворюється на декількох тонких пластикових листах, покритих м'яким напівпрозорим покриттям під назвою писанок.

### ***Написання та редагування карти***

8. Пластикові листи беруть по черзі і ставлять на світлий стіл, де через білу пластикову поверхню просвічується м'яке світло. Це підсвічування знизу робить рядки манускрипту карти видимими через шарф. Гравер обережно відсікає пальто по лінійці та областям, які мають бути певним кольором на готовій карті. Наприклад, на одному аркуші будуть всі лінії для річок, озер та інших водних об'єктів, які мають бути блакитними. Цей процес повторюється для кожного кольору.

9. Окремі аркуші для буквене позначення готуються, розміщуючи чіткий пластиковий аркуш над кожним виписаним аркушем і ретельно вирівнюючи буквене позначення з ознаками, що підлягають маркуванню. Розміри, стилі та шрифти типів вибираються відповідно до стандартів, які забезпечують послідовність та розбірливість від однієї карти до іншої. Потім на кожному готовому типовому листі робиться мінус плівки.

10. Після того, як промальовані аркуші кілька разів переглянуті та відредаговані, складається кольоростійкий лист, виставляючи кожен аркуш під іншим кольоровим світлом, щоб отримати кольоровий друк, який дуже схожий на готову карту. Після подальшого огляду та редагування карта готова до друку.

#### *Друк карти*

11. Для кожного кольору карти готується прес-табличка, викриваючи накреслені аркуші та негативні букви. Папір завантажується в літографічний друкарський верстат, і друкується перший колір. Прес-лист та чорнило міняються, і папір вдруге проходить через прес для друку другого кольору. Цей процес повторюється, поки всі кольори не будуть надруковані. Деякі з найбільших пресів можуть друкувати до п'яти кольорів послідовно, не змінюючи пластин і не завантажуючи папір.

### **3.4. Створення ортофотопланів**

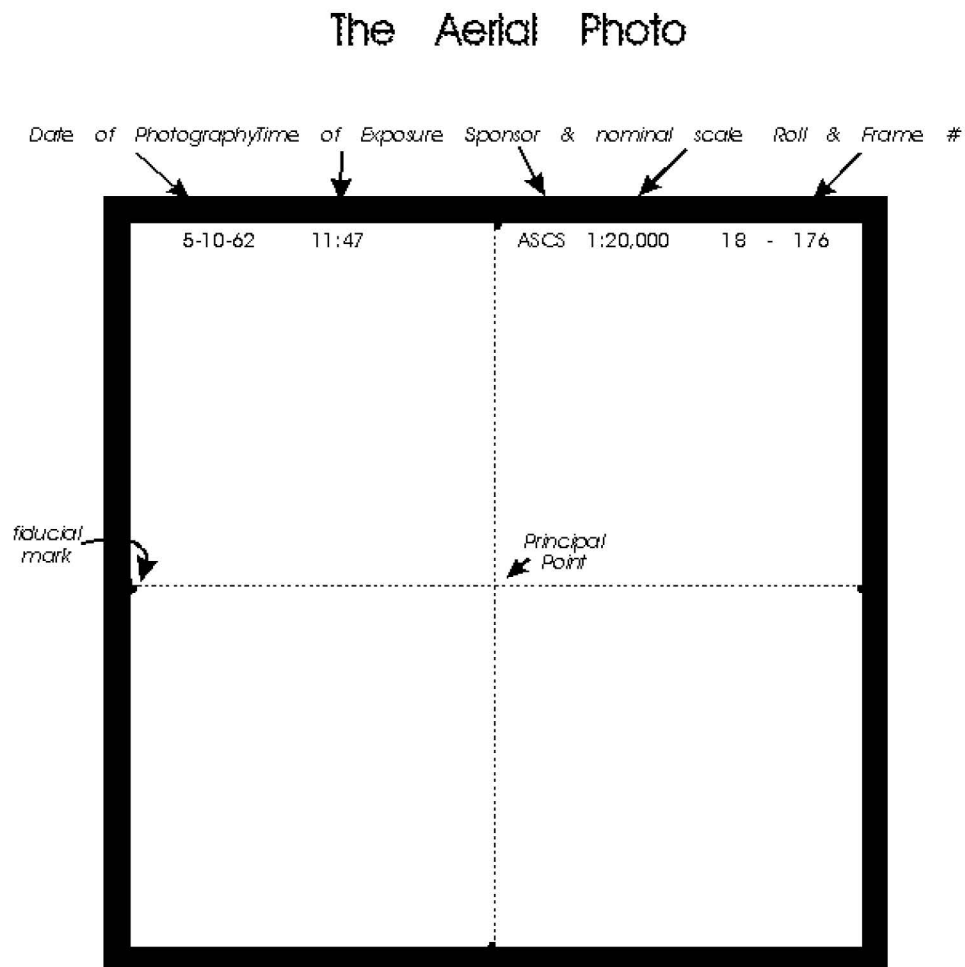
Ортофотографії вперше були створені понад 30 років тому. Він пропонує переваги звичайного картографічного продукту, але на відміну від традиційної карти, ортофото здатний відображати фактичні основні риси, а не картографічні зображення цих особливостей. До 5 або 6 років тому ортофото було створено за допомогою комбінації оптичної та цифрової обробки. Цифрова ортофотографія стала реальністю комерційного виробництва завдяки насамперед збільшенню

доступності більш потужних комп'ютерів за більш доступними цінами. Незалежно від способу побудови, для отримання ортофото для стандартного вертикального аерофотозйомки необхідно застосувати чотири основні операції або виправлення. Перша корекція - це стандартизація масштабу по всьому зображенню. Друга корекція передбачає усунення рельєфного зміщення, щоб розташувати місцевість у справжньому місці. Третя операція тягне за собою призначення зображень координат X & Y зображенню. Остаточне завдання включає радіометричні або тональні корективи, щоб зображення могло поєднуватися із сусідніми зображеннями. Запорукою розуміння ортофото є спочатку розуміння геометричних властивостей звичайної вертикальної аерофотозйомки, оскільки це джерело всіх ортофото зображень.

Традиційну фотографію з аерофотозйомки набувають у вертикальному форматі за допомогою дуже спеціалізованих камер та об'єктивів. Ці камери, встановлені в кріпленнях, встановлених на гіроскопах, спрямовані прямо на землю та фіксують їх зображення в польотах. У межах польоту кожна наступна фотографія перекриває попередній кадр зображення між 60% і 80%. Область перекриття між двома послідовними кадрами дозволяє стерео (3-D) перегляд спільної ділянки та подальший збір цифрової моделі висоти (DEM). Якщо для покриття географічного району, що цікавить, потрібно більше однієї лінії польоту, додаткові лінії польоту здійснюються з дублюванням між 20% і 30% (бічний вниз) між лініями польоту. Таке перекриття між лініями польоту не дозволяє стереопереглядати між лініями польоту або збирати DEM.

Кожна окрема фотографія аерофону займає 9 дюймів квадратних. З боків кожного кадру (і на деяких камерах в кутах) розміщені точки калібрування, які називаються довідковими знаками. Намалювавши лінії між протилежними довідковими знаками, перетин двох ліній визначить центр фотографії. Ця точка називається головною точкою. Якщо фотографія є справжньою вертикальною фотографією, ця точка також являє собою точку на землі безпосередньо під камерою під час експозиції. Ця точка

називається надір. Рис 1. ілюструє розташування фідуціальних знаків, головну точку та надір для справжнього вертикального зображення.



*Рис 1.*

### **Шкала відмінностей**

Масштаб цього зображення буде змінюватися в залежності від фото пропорційно висоті камери над землею. Використовуючи центр фотографії як базовий орієнтир, місцевість, яка знаходиться на нижній висоті (далі від камери), буде представлена у меншому масштабі, а місцевість на більш високій висоті буде зображена у більшому масштабі. Огляд рис 2. ілюструє цей факт та ілюструє просту геометрію та подібні трикутники, які використовуються для здійснення цього

розрахунку. При побудові ортофото всі коливання в масштабі знімаються, а зображення подається постійним масштабом.

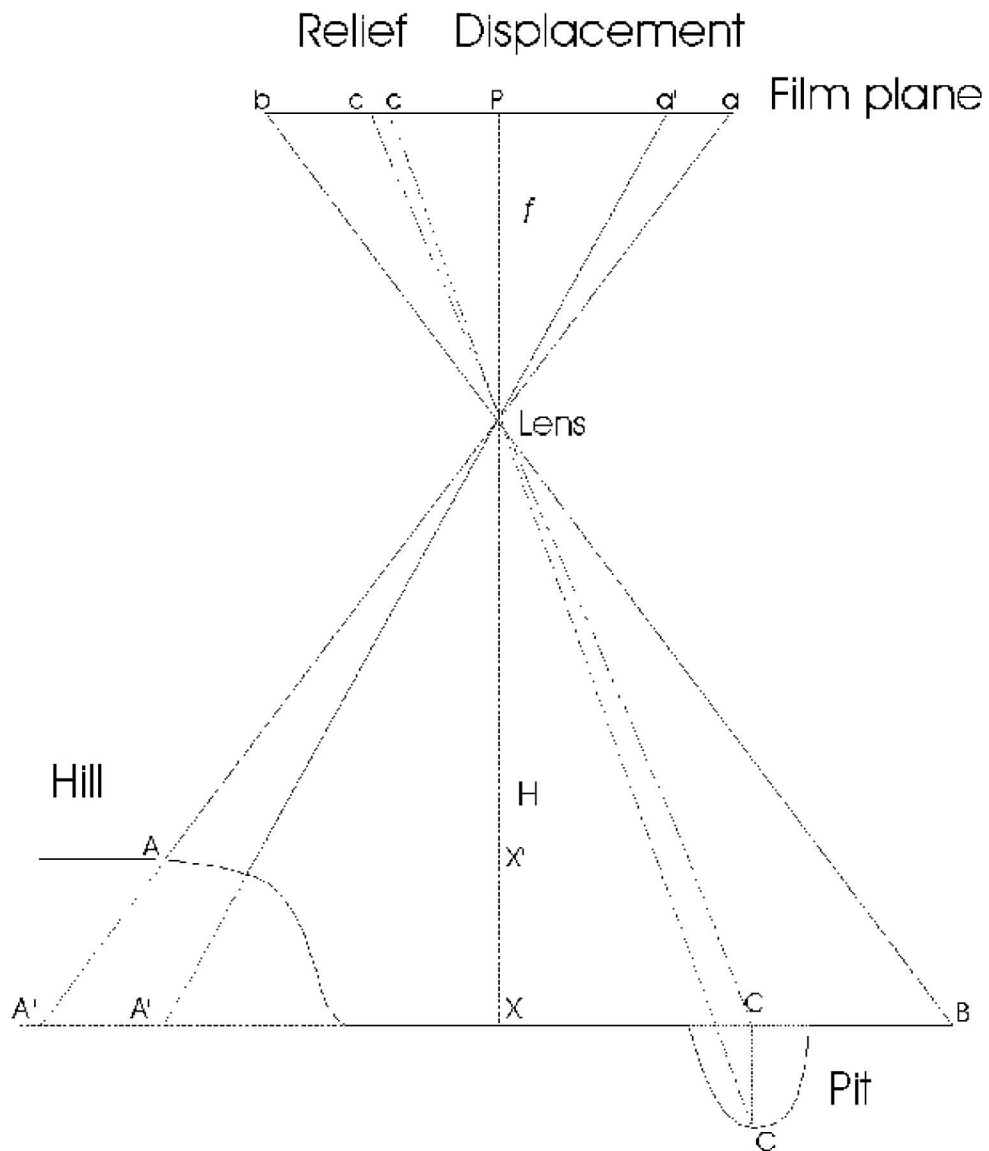


Рис 2.

### Зміщення рельєфу

Зсув рельєфу - це спотворення, яке впливає на просторову точність зображення. Простіше кажучи, точки, які перевищують надір, зміщуються назовні від центру фотографії, а точки, що знаходяться нижче на висоті, зміщуються всередину від свого справжнього положення. Знов посилаючись на малюнок 2.



проілюстровано геометричне переміщення як пагорба, так і ями по відношенню до надіру. Радіальний характер цього переміщення показаний на малюнку 1. де флагшток зміщений назовні від надіру. У цьому останньому прикладі вершина флагштока знаходиться на більш високій висоті, ніж висота на надірі. Рельєфне переміщення місцевості знімається під час освоєння ортофото, таким чином пагорби та долини з'являються в їх справжньому місці. Полегшення переміщення флагштоків, будівель, дерева та інші подібні особливості залишатимуться на зображенні, оскільки верхня та нижня частина предметів займають ту саму координату X & Y на землі. Цей артефакт зміщення рельєфу може спричинити певні спотворення зображення або ілюзії, особливо уздовж стику між аркушами ортофото. Хоча іноді тривожно, більшість не є дефектами зображення продукту.

### **Генерація цифрових ортофото**

Створення цифрової ортофотографії починається з ретельного планування і в кінцевому підсумку закінчується кінцевим продуктом зображення. Масштаб вихідного продукту визначатиме масштаб, в якому буде придбано оригінальну аерофотозйомку. Для даних Вермонта шкала кінцевого продукту визначається як 1: 5000. Для цього масштабного продукту оригінальна фотографія набувається в номінальному масштабі 1: 30 000. Під час підготовки до повітряного польоту повинні бути визначені або встановлені наземні пункти контролю та пам'ятки, щоб їх можна було побачити та записати на плівці. Значення X, Y і Z для цих точок відомі. Ці пункти складають основу для контролю та призначення координат через процес аеротриангуляції. Зараз декілька комерційних фірм посилюють наземний контроль за допомогою використання GPS у повітрі та підтримки збору даних наземних станцій. Це нове доповнення до процесу управління показує велику перспективу. Цей процес управління забезпечує основу для завершення одного з 4 кроків / виправлень, визначених раніше.

Після того, як фотографія була придбана і необхідні розрахунки триангуляції були завершені, фотографія готова до колекції цифрових моделей висоти. Ця цифрова

модель висоти стане основою для виправлення різниць масштабів у повітряних знімках через зміни висоти. Він також використовуватиметься для усунення рельєфних переміщень у місцевості. Дані про висоту збираються за допомогою аналітичного стерео-плоттера для перегляду фотографії в 3-D та збору репрезентативного зразка точок висоти, які описують рельєф місцевості. Кількість та тип інформації, зібраної в DEM, будуть різними. Це питання повинно бути цікавим для менеджера ГІС і буде обговорено далі в цій роботі.

Коли колекція DEM завершена, фотографія готова до сканування та перетворення в цифрове зображення. В ідеальній ситуації для створення цілого ортофото буде використана одна аерофотографія. Площа повинна виходити з центральної частини оригінальної фотографії, щоб мінімізувати будь-які спотворення об'єктива біля країв фотографії. Фотографії скануються з дуже високою роздільною здатністю, щоб забезпечити високу якість зображення в кінцевому продукті. Саме під час сканування до цифрового ортофотографії можуть додаватися дефекти бруду та шматочків бруду, що погіршує якість кінцевого продукту. Крім того, будь-які подряпини на оригінальній фотографії, які, як правило, мінімізуються під час оптичного збільшення, будуть чітко зафіксовані та збережені в процесі сканування, що робить їх чітко видимими в кінцевому продукті.

Справжнє створення ортофото - це комп'ютерний процес, який виходить заміж за растровану аерофотознімку з DEM. Цей процес дозволяє програмному забезпеченню розміщувати пікселі відсканованої аерофотознімки для усунення наслідків зсуву рельєфу та перепадів висоти місцевості. При правильному розташуванні пікселів та пов'язаних з ними значень координат X&Y ортофото готовий для перегляду. Тепер отримане зображення знаходиться в постійному масштабі на всьому зображенні. Тільки виправлення тональних відмінностей між зображеннями залишається для завершення процесу.

Радіометричні виправлення можуть знадобитися для вирівнювання тонових або кольорових відмінностей між орфографічними зображеннями для покращення

загальної якості зображення. Значення яскравості пікселів знаходяться в межах від 0 до 255, а в деяких випадках можуть знадобитися локальні налаштування. Якщо фотографія проводиться безпосередньо перед поверненням до дерев, відповідність зображень між лініями польоту, записаних у різні дати, може бути складною. Відмінності часу доби фотографії можуть також перешкоджати радіометричному балансуванню між цифровими зображеннями.

### **Питання вдосконалення та контролю якості продукції**

Одержувач нових цифрових ортофотографічних зображень повинен планувати провести ретельний огляд поставленого товару. Питання якості поділяються на дві широкі категорії. Перша - просторова точність, а друга - якість зображення. Просторова точність стосується розташування піксельних елементів стосовно їхнього справжнього розташування на поверхні землі. Якість зображення враховує дефекти та тональні відмінності як у межах, так і поперек аркушів. Рис 3. являє собою копію первинного оціночного аркуша, який використовується у Вермонті для огляду доставлених цифрових орто-зображень

### **Просторова точність**

Національні стандарти точності карт залишають бажати багато чого, що стосується оцінки просторової точності складеної базової карти ортофото. Щодо горизонтальної точності, Національні стандарти точності мапи зазначають, що "1. Горизонтальна точність. Для карт на масштабах публікації, що перевищують 1: 20 000, не більше 10% перевірених балів мають помилку більше ніж на 1/30 дюйма, вимірюється за шкалою публікації; для карт на масштабах публікації 1: 20 000 або менше, 1/50 дюйма. Ці межі точності застосовуються у всіх випадках лише для позицій чітко визначених точок ". (Бюро Бюджету США, видане 10 червня 1941 р., Переглянуте 26 квітня 1943 р., Переглянуте 17 червня 1947 р.) З окремими розмірами пікселів ортофото менше півметра, якість зображення може дуже припускати більш високу точність, ніж зображення може підтримати. На просторову точність впливатиме багато факторів. Одним із таких факторів є DEM. Багато

виробників ортофото збирають дані про висоту лише в систематичній сітці. Бали, зібрані таким чином, часто називають масовими балами. Хоча це може дозволити продукту, що отримує результат, відповідати мінімальним стандартам точності, збір додаткових точок та ліній підвищить якість кінцевого продукту та створить DEM з більшою корисністю для користувача GIS. Якщо не принаймні набрати очок на вершинах пагорбів, скелях чи ямах, це введе помилки. Зібравши DEM з комбінацією точок маси, ліній розриву та значущих точок, можна отримати більш корисний продукт. DEM слід також оцінювати як окремий продукт, який матиме значну корисність у середовищі ГІС у розробці місцевості та інших карт.

Мабуть, найкращим способом вибірки просторової точності є використання Глобальної системи позиціонування або GPS. Оскільки в національних стандартах точності карт визначено, що вони застосовуються лише до чітко видимих точок, важливо ретельно підбирати точки. Якщо точки DEM були взяті по головних дорогах, ймовірність помилки на зображенні сильно знижується. Слід враховувати знаходження пунктів від основних перехресть доріг. Інші чітко помітні точки, такі як куточки басейну, майданчики в парках та інші місця, допоможуть забезпечити точність зображення. Графікуючи точки з колекції GPS на цифровому зображенні, то можна виміряти різницю між зображенням і GPS-точкою. Окрім перевірки абсолютної різниці між цими локаціями,

Оскільки більшість проектів цифрового ортофотографічного відображення охоплюють великі площі, можливо, неможливо взяти зчитування GPS для кожного цифрового зображення. Як альтернатива, оцінювач може розглянути можливість використання інших цифрових даних у межах ГІС для пошуку помилок. За оцінкою у Вермонті, дорожня мережа була доступна у форматі покриття АРК та була послідовно намальована поверх цифрового ортофото під час візуальної перевірки якості. Таким чином можна було шукати підозрілі ділянки, які згодом можна було б перевірити за допомогою показань GPS. Рис 3. ілюструє приклад.





*Рис. 3.*

Деякі просторові помилки дуже очевидні при першому перегляді зображень. Інші більш тонкі. Рис 4. ілюструє грубий приклад просторової помилки між двома аркушами.





*Рис. 4.*

На Рис 4. також вказуються проблеми вирівнювання цифрових зображень. Ці помилки найбільш очевидні за лінійними ознаками. У витончених випадках вирівнювання помилка може не бути підставою для відхилення через критерії національної точності карти, однак візуальна якість карти може бути порушена до того, що відтворення одного або обох зображень може бути гарантованим.



На Рис 5. помилка набагато тонкіша і її потрібно ретельно оцінити.



Рис. 5.

Зображення на Рис. 5. є резервуаром для води, а частина танка відрізана біля стику із зображенням на південь. Ретельний огляд нарешті виявив, що частина місцевості відсутня, проте частина вершини відсутньої водонапірної башти була відрізана рельєфним переміщенням. Оскільки точки, які перевищують Надір, виходять, цей тип спотворень може бути не просторовою помилкою, а оптичним артефактом



оригінальної фотографії. Подібні спотворення знайдуться уздовж країв аркушів, що зображають високі будівлі. Високі мости також можуть бути джерелом помилок або спотворень. Пересуваючи місцевість під мостом, щоб зняти рельєфне зміщення, фактичний міст може виявитися нерівним до сполучної шосе.

### Якість зображення

Питання якості зображення можна згрупувати у дві категорії. Перша - це природні аномалії, а друга - помилки, спричинені людиною. Прикладами природних факторів зниження якості є відбиття очей від водних тіл та глибоких тіней, спричинене низькими кутами сонця. Рис 6. ілюструє кілька особливостей погіршення якості.

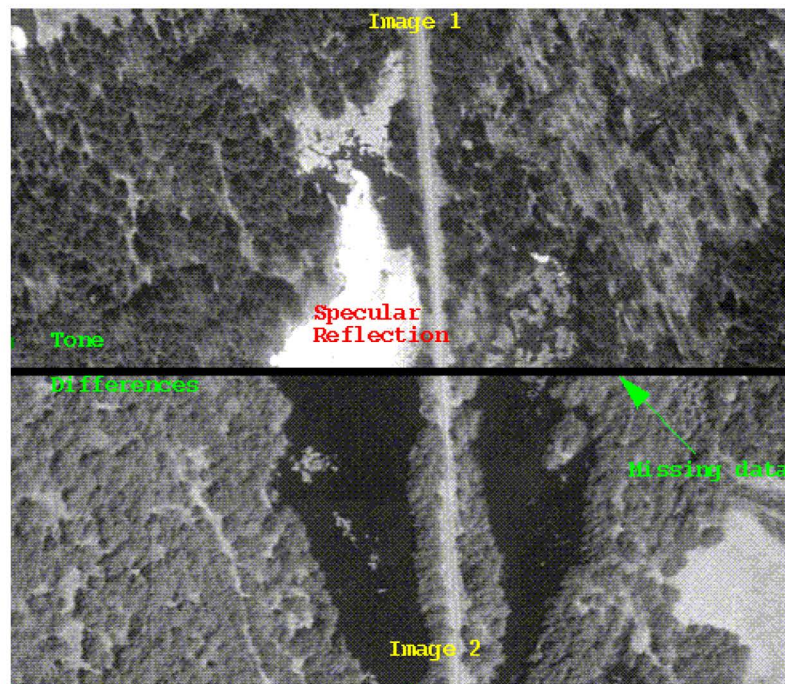


Рис. 6.

Яскрава пляма на верхньому зображенні на рисунку 6. викликається дзеркальним відбиттям від водойми. Це природне явище виникає, коли кут падіння сонячного світла, що вражає гладку поверхню води, дорівнює куту відбиття до камери. Тональні відмінності між зображеннями досить мінімальні, але їх можна



зменшити. Товста чорна лінія між зображеннями ілюструє відсутність даних і може бути результатом помилки оператора.

Подряпини можуть входити у зображення зображення на декількох етапах. Перше може статися під час отримання аерофотознімка. Ці типи подряпин походять від механізму транспортування плівки, коли рулон плівки переміщується в камері. Ці подряпини проходять по прямих лініях через зображення в напрямку лінії польоту. Ці подряпини будуть зібрані під час сканування фотографії та відображення на цифровому зображенні. Рис 7. ілюструє цей тип подряпин.



*Рис. 7.*



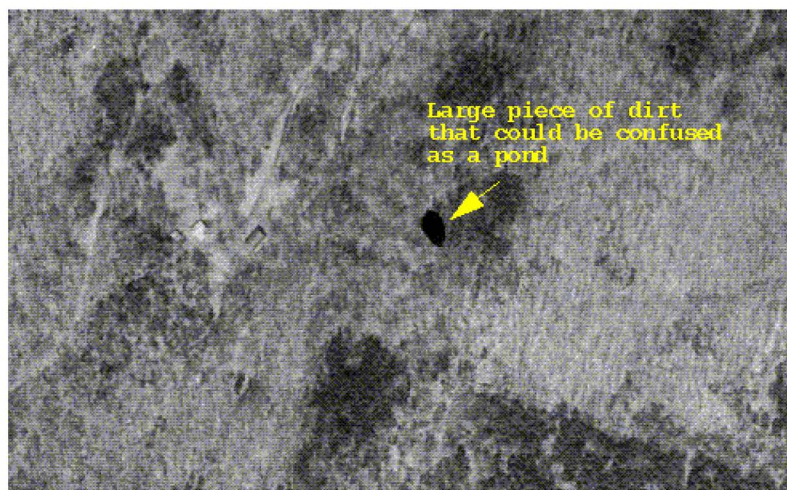
Інші подряпини можуть бути нанесені неправильним поводженням з фотографією до сканування. Ці подряпини часто сміливіші і руйнівніші. Рис 8. ілюструє таку подряпину.



*Рис. 8.*

Бруд та ворсинка також можуть бути включені до зображення орто, якщо вони ретельно не видаляються перед скануванням. Загалом плями бруду будуть виглядати як темні плями на зображенні, і їх часто можна сплутати з невеликими водоймами. Рис 9. ілюструє цифровий ортофото з великим шматочком бруду, відсканованим на зображення.





*Рис. 9.*

Шматки волосся і волосся зазвичай з'являються у вигляді сірих або білих плям або хвилястих ліній. Вони також, як плями бруду, включаються в цифрове зображення під час сканування. Рис. 10. ілюструє приклад.



*Рис. 10.*



Тіні та час доби можуть стати суттєвим фактором, який може призвести до інакшої відмінної бази зображення. Ця проблема посилюється, коли сусідні лінії польоту пролітають на крайніх кінцях літаючого вікна. У найгіршому випадку західна лінія пролітає рано вранці, а східна - в кінці дня. Такої ситуації слід уникати. Рис. 11. ілюструє появу зображень, що пролітають у цих крайностях.

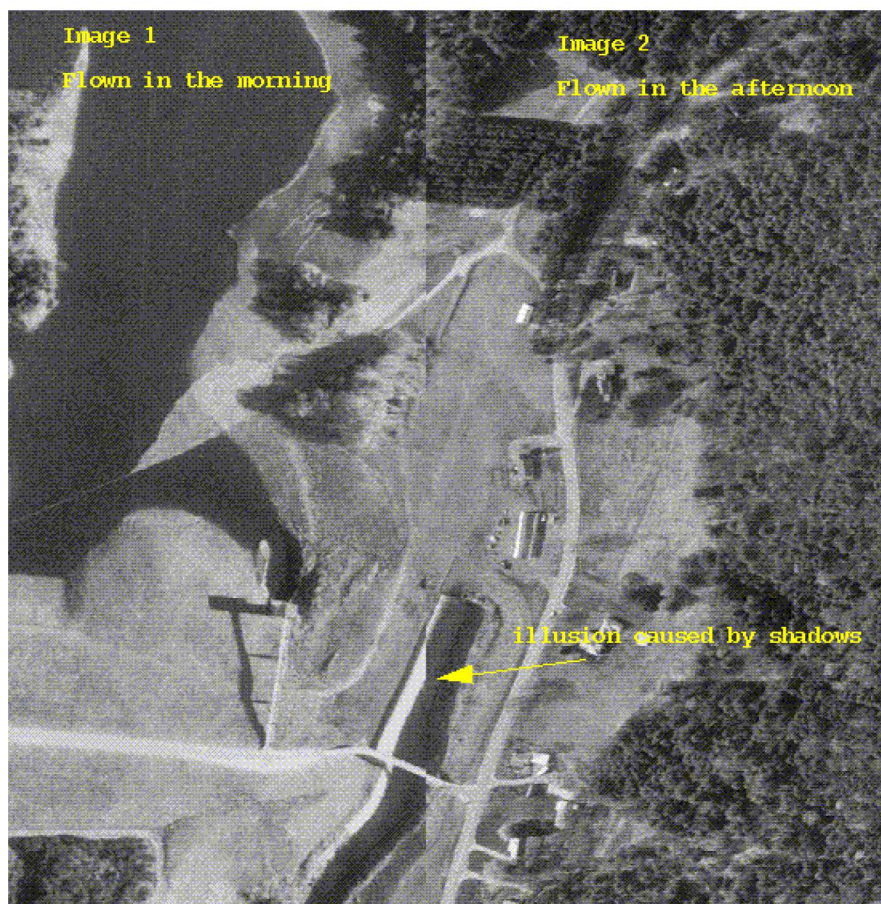


Рис. 11.

## **Рекомендації щодо огляду цифрових ортофотографічних зображень**

Огляд цифрових зображень буде включати вибірку просторової точності в полі за допомогою GPS.

Щоб правильно переглянути цифрові зображення на предмет помилок та дефектів, рецензент повинен мати копії оригінальної фотографії на екрані комп'ютера. Під час цього огляду також корисні ручна лінза та стереоскоп. Важливо врахувати масштаб контрактних зображень під час цього процесу огляду. Основний огляд повинен здійснюватися на екрані за шкалою дозволеної угоди. Збільшити масштаб, щоб знайти дефекти, не справедливо до виробника ортофото.

РЕКОМЕНДАЦІЯ 1. Зразки пунктів від дороги та місця, де будуть взяті точки DEM.

РЕКОМЕНДАЦІЯ 2. Вимагайте надання DEM та цифрових зображень до початку огляду. Часто корисно переглянути зображення з цією точкою, розміщеною вгорі зображень.

РЕКОМЕНДАЦІЯ 3. Подумайте про те, щоб підрядник надавав точкове покриття для центрів оригінальної фотографії, які можуть бути розміщені поверх цифрових зображень. Це дозволить в огляді визначити фото, з якого побудований ортофото .

РЕКОМЕНДАЦІЯ 4. По можливості зображення перекривають лінійкою покриття, як дорога або потокова мережа з іншого джерела карти, щоб допомогти шукати просторові помилки.

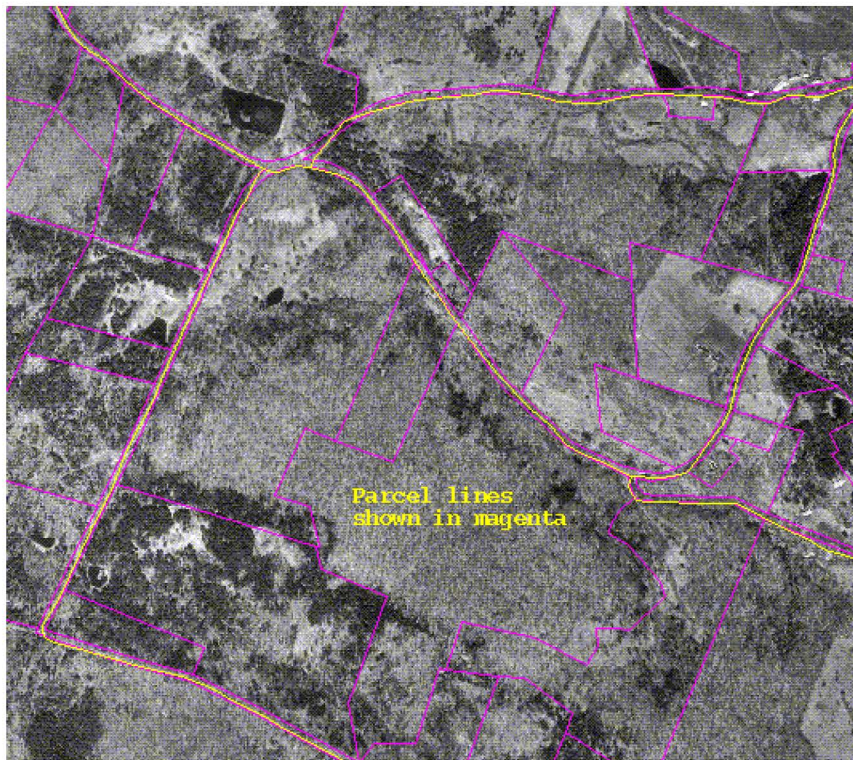
РЕКОМЕНДАЦІЯ 5. Встановіть критерії прийняття / відхилення перед початком процесу перегляду. Вийдуть шматочки бруду і бруду. Заздалегідь встановлення максимально допустимого обсягу та розміру полегшить процес. Це слід узгодити з підрядником.

## **ПІДСУМОК**

Правильно зібраний та доставлений цифровий ортофото та пов'язаний з ним DEM є важливим доповненням до географічної інформаційної системи. На додаток до покращення візуального відображення інформації, ця базова карта може використовуватися безпосередньо для додавання або виправлення розташування функцій для використання в ГІС. Уникаючи використання картографічних зображень реальності, точні місця будівлі чи типи покриття можна правильно відобразити безпосередньо з екрана комп'ютера. Рис.12 ілюструє використання



цифрового ортофото як фонового зображення для векторного відображення ліній власності та дорожньої мережі громади.



*Рис. 12*

Такий дисплей може використовуватися у службах порятунку 101 ДСНС та інших служб які вимагають маршрутизації, плануванні спільноти та безлічі інших програм. Не менш важливим є DEM, який спочатку використовується для виправлення оригінальної фотографії. Її життя поширюється за межі ортофотографа і може бути використана для топографічного аналізу та відображення. Крім того, нове програмне забезпечення тепер дозволяє власнику DEM застосовувати цю інформацію до нової фотографії для створення ортофото зображень. Хоча ця операція дуже обчислювальна, локальне оновлення на ГІС робочої станції тепер можливе з 3-го. програмні пакети партії. Ключовим фактором для всіх цих можливостей є поінформований менеджер ГІС та потужний процес QA / QC для забезпечення якості зображення.



## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕПЕКИ

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, отримувати спеціальний дозвіл на польоти БПЛА з Державного повітряного департаменту та координувати свої польоти з Генеральним Штабом Збройних Сил.

Це відповідає Конвенції про Міжнародну цивільну авіацію 1944 р., До якої Україна приєдналася в 1992 р. Крім цього правила, загальний режим авіаційного регулювання застосовується до операцій з БПЛА.

### Вступ

Українська промисловість безпілотних літальних апаратів (БПЛА) порівняно молода. Серйозні дослідження в Росії в країні було запущено поле безпілотників на початку 2000-х.

В даний час близько тридцяти варіацій БПЛА вітчизняного виробництва доступні для комерційного використання в Україні.

У 2015 році як повідомляється, в комерційних цілях в країні використовуються 1500 безпілотників.

У серпні 2014 року в Україні була розпочата програма дистанційного навчання пілотними транспортними засобами. Її навчальна програма була розроблена, щоб забезпечити майбутнім пілотам безпілотників загальні теоретичні знання в галузі авіоніки, функціонування та експлуатація безпілотних літальних систем (UAS), а також практичні навички для пілотування безпілотника при активному використанні автопілота. Ця програма відповідає навчання пілотів. Програма пілотного

літального апарату та затверджується Адміністрацією цивільної авіації України. Це також координується з іншими програмами вітчизняних та закордонних організацій, що займаються БПЛА навчання пілотів.

У 2016 році Україна розпочала виробництво власних військових дронів.

## **II. Законодавство про БПЛА**

### **A). Правова база**

Правовий статус безпілотників законодавством України конкретно не визначається. Натомість загальні авіаційні правила застосовуються до операцій безпілотників.

Основні правові акти, що регулюють повітряний рух та використання повітряного простору та повітряних транспортних засобів:

- Повітряний кодекс України, національний закон, який встановлює всі основні норми, що стосуються використання повітряного простору України.
- Правила реєстрації цивільних літальних апаратів в Україні, яка визначає порядок і вимоги щодо ведення Державного реєстру цивільних повітряних суден України та правила щодо реєстрація та перереєстрація нових, модифікованих та відремонтованих літальних апаратів, якими володіє юридичні та особи, які проживають в Україні.
- Положення про використання повітряного простору України, яка встановлює процедури використання повітряний простір юридичними та фізичними особами та визначає функції повітряного простору та повітря органи контролю руху.
- Правила польотів цивільних літальних апаратів у повітряному просторі України, яка передбачає загальне регулювання польотів та маневрування повітряних суден, у тому числі в класифікованому повітряному просторі України та повітряний простір у відкритому морі, де відповідальність за контроль повітряного руху послуги надаються Україні міжнародними договорами.

## В). Визначення БПЛА

Відповідно до Повітряного кодексу України, термін "безпілотний літальний апарат" визначається як будь-який літак, призначений літати без пілота на борту. Політ та контроль таких транспортних засобів є виконується спеціальною станцією управління, яка не знаходиться на борту транспортного засобу.

Реєстрація літаків заявляє, що БПЛА включають безпілотникові, неприв'язані повітряні кулі та віддалено пілотований літак.

## **III. Реєстрація БПЛА**

Правила реєстрації цивільних літальних апаратів передбачають, що повітряне судно повинно бути включено до держави Реєстр цивільних повітряних суден України, якщо він належить юридичній особі, зареєстрованій в Україні, або фізична особа, яка проживає в Україні, або здається в оренду або орендується українським оператором у нерезидентський власник.

Безпілотникові, непідвладні кулі без корисного вантажу та віддалені пілотування повітряне судно, максимальна вага зльоту якого не перевищує 20 фунтів (20 кг), для якого використовується розважальні та спортивні заходи не підлягають реєстрації в Державному реєстрі.

Повітряний Кодекс зазначає, що ці типи незареєстрованих ПС повинні регулюватися правилами, встановленими професійні організації, що регламентують цей вид діяльності.

## **IV. Обмеження повітряного навігації**

Положення про використання повітряного простору України та Правила польотів цивільних літальних апаратів у Росії повітряний простір України конкретно не згадує безпілотники, але всі правила, застосовні до пілотованих повітряні судна застосовуються до БПЛА, якщо вони підлягають реєстрації ПС.

Єдине спеціальне правило, що застосовується до дронів, було знайдено у пункті 74 Положення про Використання повітряного простору України, що вимагає того, хто використовує дрони для аерофотозйомки отримати спеціальний дозвіл на польоти БПЛА від Державного повітряного департаменту та координувати їх рейси з Генеральним штабом Збройних Сил. Ця вимога, схоже, є вдотримання Конвенції про міжнародну цивільну авіацію 1944 р., в якій зазначено, що[*n*] о повітряне судно, яке може літати без пілота, повинно пролітати без пілота над територією Договірної Держави без спеціального дозволу цієї Держави та в Росії відповідно до умов такого дозволу. Кожна договірна держава зобов'язується: гарантувати, що політ такого повітряного судна без пілотного в регіонах, відкритих для цивільних літальних апаратів, повинен здійснюватись бути настільки контрольованим, щоб уникнути небезпеки для цивільної авіації.

Україна приєдналася до Конвенції у 1992 р.

Українське державне підприємство з обслуговування повітряного руху (Украерорух), державна установа відповідальний за забезпечення контролю повітряного руху через повітряний простір України та над Чорним морем, забезпечує управління повітряним простором, управління потоком повітряного руху, метеорологічні служби на маршрутах повітряна навігація та передпольотні інформаційні служби. UkSATSE відповідає за призначення та резервування повітряного простору, де можуть здійснюватися безпілотні польоти.

Хоча чинне законодавство України конкретно не регулює використання безпілотників, Повітряний кодекс України та Правила реєстрації цивільних літальних апаратів зазначають БПЛА серед цивільних та комерційний літак. Це означає, що правила та обмеження аеронавігації застосовуються до всіх користувачів повітряного простору, включаючи операторів безпілотників.

Цивільним літальним апаратам заборонено літати над такими районами:

- Повітряний простір спеціального призначення - зони, встановлені вздовж кордону.
- зони з обмеженим доступом - частина повітряного простору, де заборонені польоти літаків мета захисту важливих державних будівель та ключових промислових об'єктів (наприклад, ядерних електростанцій, хімічні підприємства тощо).
- Зони обмеження польоту - обмежені частини повітряного простору над сухопутними або територіальними водами до польотів літаків протягом конкретних часових періодів через військові навчання, пуски ракет, дослідження або контрольовані вибухи.
- Зони небезпеки - частини повітряного простору, де протягом визначеного періоду часу проводяться дії трапляються небезпечні для повітряного руху.
- Тимчасово зарезервованій повітряний простір - повітряний простір, де повітряний рух заборонено в межах визначеного періоду час через загрозу регулярних авіаційних польотів або з інших причин.
- Області зі спеціальним режимом використання повітряного простору - 25,5 кілометрів на всій території повітряний простір уздовж державного кордону України, де застосовується спеціальний порядок льотних операцій та контроль встановлюється ВВС України.

Оператори БПЛА поширюються на ті самі правила відповідальності, що й інші оператори повітряного руху.

Відповідно до Кримінального кодексу України оператори можуть нести кримінальну відповідальність за створення небезпеки життя людини або спричинення інших умов, що загрожують безпеці повітряних польотів.

Порушення правил, пов'язаних з безпекою польотів літаків особами, які не є повітряним транспортом робітники караються штрафом або позбавленням волі на строк до трьох років, якщо вони піддають людей живе до небезпеки або викликає ризик будь-яких інших тяжких наслідків. У випадках каліцтва, смерті або інші серйозні наслідки, порушення правил повітряного руху караються позбавленням волі з п'ять-дванадцять років. Таке ж покарання призначається і за порушення правил, пов'язаних із використання повітряного простору, включаючи незаконний запуск безпілота.

## ВИСНОВКИ

Отже, провівши узагальнений аналіз стосовно застосування БПЛА для цілей аерознімання, сформулюємо висновки:

1. Безумовно, застосування БПЛА для аерознімальних робіт є перспективним і це доведено величезним зацікавленням щодо впровадження у виробництво цих засобів.

2. На мою думку, загальні вимоги до БПЛА повинні бути такими:

а) необхідно забезпечити максимальну стабільність польоту за допомогою відповідного гіростабілізувального обладнання;

б) наявність на борту геодезичного GPS-приймача, за допомогою якого у кінематичному режимі достатньою точністю (10–20 см) визначатимуться лінійні елементи зовнішнього орієнтування знімків;

в) важливо встановити навігаційне обладнання, за допомогою якого можна реалізовувати ручне, напівавтоматичне та автоматичне керування апаратом;

г) наявність аеропристрою, обладнаного мініатюрними інкрементальними роторно-оптичними давачами, за допомогою яких можна визначати кутові елементи зовнішнього орієнтування з точністю до декількох секунд;

д) важливими є засоби безпеки стосовно самого БПЛА та бортового обладнання (парашутна система, радіомаяк тощо);

е) наявність достатньо потужної цифрової камери з телеоб'єктивом, з погляду розрізняювальної здатності (не менше за 20–60 МП);

ж) обов'язкове метрологічне дослідження цифрових камер на предмет визначення дисторсії та елементів внутрішнього орієнтування;

з) можливість забезпечити політ БПЛА не менше від однієї години;

к) важливо забезпечити можливість транспортування БПЛА без наявності спеціальних засобів;

л) бажаним є обмеження злітно-посадкової смуги (реалізація режиму “зліт з руки” і глісаду в точку);

м) важливо забезпечити визначення у польоті кута зносу та його автоматичне встановлення за допомогою аеропристрою.

3. На підставі проведеного аналізу тенденцій використання БПЛА та напрямів їх подальшого розвитку можемо стверджувати, що використання безпілотних літальних апаратів є перспективним для знімання невеликих за протяжністю площадкових об'єктів і знімання лінійних об'єктів. Їх впровадження стрімко розвивається і вони займають гідне місце в аерознімальних процесах.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павлушенко М. БПЛА : история, применение, угроза распространения перспективы развития / М Павлушенко, Г. Евстафьев, И. Макаренко, . М.: «Права человека», 2005. - 612 с.
2. Електронний ресурс: [www.wikipedia.org.ua](http://www.wikipedia.org.ua)
3. Галушко С . Беспилотные летательные аппараты кардинально изменят облик авиации будущего Електронвий ресурс / Галушко С. // Авиапанорама -2005. - №4
- 4 . Глотов В . Аналіз сучасних методів знімання та опрацювання великомасштабних планів В. Глотов, А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. - 2014. - Вип. П (28). - С. 65-70.
5. Тимочко О.1. Класифікація безпілотних літальних апаратів / О.1 .Тим.очко, Д.Ю. Голубничий, В .Ф. Третьяк, І.В. Рубан// Система озброєня і військова техніка. - 2007. Вип. 1 (9). С. 61-66.
6. Трубников Г.В . Беспилотные летательные аппараты: и технологическая модернизация страны / Трубников Г.В ., Воронов В .В . // Экспорт вооружений . - 2009. -№ 4. -С. 11-20.
7. Станкевич С.А. Застосування сучасних технологій аерокосмічного знімання в аграрній сфері / Станкевич С.А., Васько А.В. // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: матеріали наук. практи. конфер. -2011. - С. 44-50.
8. Проценко М.М. Аваліз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів / Проценко М.М. // Вісник ЖДТУ Віспик ЖДТУ. - № 2. - с. 113-118.
9. Gini R. Aerial images from an UA V system: 3D modeling and tree species classification in a park area / Gini R, D. Passoni D., Pinto L., Sona G. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress. Melbourne. - 2012- - P. 361-366.

10. Проблемы создания беспилотных авиационных комплексов в Украине / Гребеников А.Г., Журавский А.Г., Мялица А.К. [и др.] // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии . - 2009. - № 42. - С . 111-119 .
11. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты : применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1) / О.Н. Зинченко // Ракурс. - 2011 . - С . 1- 12.
- 12.. Проценко М.М. Аналіз методи цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата/ Проценко М.М. // Вісник ЖДТУ. - № 3 (т. 1) -С. 67- 72.
13. Матійчик М.П. Тенденції застосування безпілотних повітряних суден в цивільній авіації / Матійчик М.П., Качало І.А // Матеріали ХІ міжнародної наук.техн. конфер. "ABIA 2013". - 2013. - С . 97.
- 14.Chen J. Application of UAV system for low altitude photogrammetry in Shanxi / Chen J., Zongjian L., Xiaojing W., Yongrong L. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. - XXII ISPRS Congress. Melbourne. - 2012. - P. 351- 354.
- 15.Аналіз експериментальних робіт з створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА / Галецький В. , Глотов В. , Колесніченко В. [та інші] // Геодезія, картографія і аерофотознімання . - 2012. - № 76. - С .85-93 .
16. Makelainen A. 2D-hyperspectral :frame manager camera data ш photogrammetric mosaicking / Makelainen A., Saari H., Hippinen J., Sarkeala J., Soukkamaki J. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. - 2013. - P . 263-267.
17. Droschel D. Omnidirectional perception for lightweight UAV s using acontinuously rotating 3D laser scanner / Droschel D., Schreiber M., Behnke S. // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. UAV-g2013. Rostock. - 2013. - P. 107- 112.

18. Сечин А.Ю., Дринкин М.А., Киеселева А.С. /Беспилотный летательный аппарат: применение в аэрофотосъемке для картографирования //А ТИП № 3(50). - 2013 с. 56- 58.
19. Скубиев С.И. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей картографии [Текст]/С.И. Скубиев // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 2010.-№12.-С.69-74.
20. Чибуничев А.Г., Михайлов А.П., Говоров А.В. Калибровка цифровых фотокамер // Вторая научно-практическая конференция РОФДЗ. Тезисы
21. Зинченко О.Н. / Беспилотный летательный аппарат; \_\_ применение~целях аэрофотосъемки для картографирования «Ракурс», Москва, Россия 2011 .  
Электронного адреса: <http://www.racurs.ru/?page=681> .
22. [http://www.ptero.ru/files/miigak\\_resolution.pdf](http://www.ptero.ru/files/miigak_resolution.pdf)
23. Филиппов Д. В . Состояние автомобильных дорог изучает БПЛА [Текст]/ Д. В. Филиппов, К. Ю. Великжанина// Дороги. - 2012. - № 7. -С. 74-78.
24. Дмитриев И. Д. Лесная авиация и аэрофотосъемка [Текст] / И. Д. Дмитриев, Е. С. Мурахтанов, В. И. Сухих. - М.: Агропромиздат, 1989.- 336 с.
25. Аэрофотосъемка местности при помощи БПЛА- Совзонд [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://sovzond.ru/services/aerophotography/>. - 01.02.2015.
26. Воздушная технология Teamnet International [Электронный ресурс].  
Режим доступа: <http://www.teamnet.ro/ru/resheniya/vozdushnaya-tehnologiya/>.  
08.09.2001.
27. Геоинформационные системы и электронные карты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://geointer.ru.host136618.serv38.hostland.pro/uslugi/geoinformacionnyie-sistemyi-i-elektronnyie-kartyi>. - 02.06.2013.
28. Гергель И.А. Анализ полета малых беспилотных летательных аппаратов для выполнения аэрофотосъемки площадных объектов / И.А. Гергель,, В. И. Кортунов// Авиационно-космическая техника и технология, 2015, № 4 (121). - С. 38-42.

29. Barton J. D. Fundamentals of Small Unmanned Aircraft Flight [Text] / J. D. Barton // Johns Hopkins APL Technical Digest. - 2012. - V. 31, No 2. - С. 132-149.
30. MP2 128g autopilot integration and verification for stabilization and control of mini-UAV aircraft in autonomous flight [Text] / A. Olejnik, R. Rogoiski, T. Moisej, O. Chmaj // Pomiar Automatyka Robotyka. - 2013. - № 2. - С. 313-320.
31. Canon EOS 5D [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.dpreview.com/reviews/CanonEOS5D/>. - 13.04.1998.
32. Костюк, А. С. Расчет параметров и оценка качества аэрофото съемки с БПЛА [Текст] / А. С. Костюк // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2010. - Т. 4, № 9. - С. 53-59.
33. CHDK - альтернативная прошивка. Параметры пульта [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://chdk.com/blog/2009-01-27-140>. 24.07.2007.
34. Байков И.С., Трясучкин М. А., Иванов В. А. Самолетовождение при аэрофото съемке. - М.: Недра, 1973, 232 с.
35. Митрахович М. М., В. И. Силков, А. В. Самков, Х. В. Бурштынская; Силков В. И. Беспилотные авиационные комплексы. Методика сравнительной оценки боевых возможностей : монография. Киев : ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. - 288 с.
36. В. Галецький, В. Глотов, В. Колесніченко, О. Прохорчук, А. Церклевич. Аналіз експериментальних робіт створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА.
37. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт студентами спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» з дисципліни «Застосування безпілотних літальних апаратів в ПС» / С. М. Трохимець, Р.М. Янчук Рівне : НУВГП, 2011 - 41 с.
38. Глотов В. М. Колесніченко В. Б. Результати експериментально випробувальних робіт із застосування безпілотного літального апарату для цілей аерознімання.
39. Козуб А.М., Суворова Н.О., Чернявський В.М. Аналіз засобів збору інформації для географічних даних інформаційних систем // Системи озброєння і

військова техніка, 2011 , № 3(27).С.42-47.

40.D. Mihajlovich, M. Mitrovich, n. Cvijetinovichg, M. Vojinovich.

Photogrammetry of archaeological site Felix Romuliana at Gamzigrad using aerial digital camera and non-metric digital camera. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XX:XVII congress ISPRS. Part B5, Beijing - 2008. P. 397-399 ..

41 .БПЛА: застосування в ЦІЛЯХ аерофотознімання для

картографування.[http://www/uasresearch.com/UserFILES/156-181 Referens-Section UAS All-Categories&Classes.pdf](http://www/uasresearch.com/UserFILES/156-181%20Referens-Section%20UAS%20All-Categories&Classes.pdf).

42 .U. Coppa, A. Guarnieri, F. Pirotti, A. Vettore. ACCURACY

ENHANCEMENT OF UNMANNED HELICOPTER POSITIONING WITH LOW COST SYSTEM

43.Chunsun Zhang. AN UAV-BASED PHOTOGRAMMETRIC MAPPING

SYSTEM FOR ROAD CONDITION ASSESSMENT. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5 , Beijing - 2008. P.627-632 .

44.Yongjun Zhang. PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF LOW

ALTITUDE IMAGE SEQUENCES BY UNMANNED AIRCRAFT. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing - 2008. P. 751-758.

45.M. Koebel, P. Grussenmeyer. 3D MODEL FOR HISTORIC

RECONSTRUCTION AND ARCHAEOLOGICAL KNOWLEDGE

DISSEMINATION: THE NIEDERMUNSTER ABBEY'S PROJECT (ALSACE, FRANCE). The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing - 2008. P.325-330.

46.P. Salo , O. Jokinen , A. Kukkonen. ON THE CALIBRATION OF THE

DISTANCE MEASURING COMPONENT OF A TERRESTRIAL LASER

SCANNER The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing- 2008. P. 1067-1072.



47. P. Schaer, J. Skalol P. Tom . TOWARDS IN-FLIGHT QUALITY  
ASSESSMENT OF AIRBORNE LASER SCANNING. The international archives of  
the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress JSPRS. Part BS,  
Beijing - 2008. P .851-856.