

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра
на тему:

**Удосконалення технології створення топографічних планів
за матеріалами аерознімання з безпілотних літальних апаратів**

Розробив: **Лисиця Єгор Олександрович**
студент гр. 2мБЗ,
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
№ з.к. 10589155

Керівник: **Павлик В.Г.**
к.т.н., старший викладач кафедри
автомобільних доріг, геодезії та
землеустрою

Рецензент: _____

Полтава 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ
до кваліфікаційної роботи магістра
на тему

**Удосконалення технології створення топографічних планів
за матеріалами аерознімання з безпілотних літальних апаратів**

Розробив: **Лисиця Єгор Олександрович**
студент гр. 2мБЗ
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»
№ з.к. 10589155

Консультанти:

із земельно-правових питань _____ д.е.н., професор **Шарий Г.І.**

із охорони навколишнього середовища _____ к.т.н., доцент **Щепак В.В.**

із геодезії _____ к.т.н., доцент **Міщенко Р.А.**

Нормоконтроль _____ к.т.н., доцент **Щепак В.В.**

Допустити до захисту
зав. кафедри _____ д.е.н., професор **Шарий Г.І.**

Зміст

	стор.
Вступ	6
Розділ 1. ТЕХНОЛОГІЯ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ТА ПЕРЕВАГИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ	9
1.1. Правове та нормативно-технічне забезпечення безпілотних літальних апаратів	9
1.2. Зарубіжний досвід застосування БПЛА	15
1.3. Використання безпілотних літальних апаратів на території України	22
Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ІСНУЮЧИХ БПЛА ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ	31
2.1. Використання сучасних БПЛА	31
2.2. Класифікація БПЛА за технічними характеристиками	35
Розділ 3. НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БПЛА	44
3.1 Загальна характеристика території топографічного знімання	44
3.2 Зйомочне обґрунтування та вибір мультикоптерів для топографічного знімання території	50
3.3 Оптимізація зйомочного процесу безпілотними літальними апаратами	61
3.4 Фотограмметрична обробка ортофотопланів	73
3.5 Створення топопланів населеного пункту на основі аерофотознімання	85
Висновки	100
Список використаної літератури	101
Додатки	

					<i>КРМ 2мБЗ 10589155</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Лисиця Є.О.</i>			Удосконалення технології створення топографічних планів за матеріалами аерознімання з безпілотних літальних апаратів	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Павлик В.Г.</i>					4	99
<i>Н. Контр.</i>		<i>Щепак В.В.</i>				Національний університет Полтавська політехніка «імені Юрія Кондратюка» Кафедра АДГтаЗ		
<i>Затверд.</i>		<i>Шарий Г.І.</i>						

ВСТУП

Сучасні технології створення геодезичних планів базуються на використанні матеріалів цифрової аерофотозйомки. Завдяки поєднанню можливостей авіаційної та фототехніки значно підвищилася ефективність геодезичних досліджень, спрямованих на створення топографічних карт і планів. Тому альтернативним рішенням для вищевказаних цілей є використання дронів.

Сфера їх використання досить широка – від прогнозування надзвичайних ситуацій, моніторингу державних кордонів до моніторингу різноманітних ситуацій та явищ. Технології аерофотозйомки вдало поєднують високу швидкість і якість, яких достатньо для вирішення багатьох топографо-геодезичних завдань. Застосування сучасної аерофотозйомки не обмежується геодезичними вимірюваннями, а охоплює й інші сфери діяльності людини. Винахід методу аерофотозйомки спочатку вплинув на виконання геодезичних досліджень на великих територіях і у важкодоступних районах. Однак аерофотозйомка невеликих територій довгий час вважалася неефективною та економічно недоцільною. Аерофотозйомка стала більш популярною лише завдяки створенню малих дистанційно керованих літальних апаратів.

Створення масштабних планів сільських громад на основі отриманих за допомогою БПЛА даних є необхідним для розробки генеральних планів. А це, в свою чергу, пов'язане з розглядом земель та встановленням меж у певному регіоні. На відміну від наземних геодезичних методів, які включають тахеометричні зйомки та вимірювання за допомогою GPS-приймачів, безпілотні літальні апарати дозволяють швидко та економічно проводити аерозйомку невеликих територій для кадастрових, топографічних та ортофотопланів.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

Третій розділ розкриває передумови проведення зйомочних робіт на території села Книшівка Новогалещинській_селищній громаді Полтавської області.

У четвертому розділі подано опис процесу підготовки топографічного плану села Книшівка Новогалещинської селищної громади Полтавської області за матеріалами аерофотозйомки.

Кваліфікаційна робота магістра містить 5 таблиць та 18 рисунків. Під час розробки розроблено нормативно-правові акти, інструкції та методичні вказівки до геодезичної та картографічної продукції, консультації та методичні розробки спеціалістів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

РОЗДІЛ 1
ТЕХНОЛОГІЯ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ТА ПЕРЕВАГИ
СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ

**1.1. Правове та нормативно-технічне забезпечення використання
безпілотних літальних апаратів**

В даний час інтерес до безпілотних літальних апаратів (БПЛА) значно зріс, і пропонуються їх застосування в різних галузях науки і техніки, таких як картографування, кадастр і містобудування; БПЛА можна використовувати для різних видів спостереження тощо.

У нашій країні внесено певні зміни до Авіаційного кодексу, до його основних положень введено поняття безпілотного літального апарату (БПЛА) – літального апарату, призначеного для польотів без пілота на борту та контролю та управління польотом якого здійснюється за допомогою спеціальної станції, яка знаходиться поза бортом літака. Зроблено спрощення при реєстрації безпілотних комплексів, але лише для окремих видів діяльності. Пунктом 8 статті № 39 «Реєстрація цивільних повітряних суден» встановлено, що не підлягають реєстрації в Державному реєстрі цивільних повітряних суден України: безпілотні повітряні судна, максимальна злітна маса яких не перевищує 20 кг і які використовуються для розважально-спортивна діяльність [17]. Закон про авіацію не визначає сфери застосування БПЛА та їх порядок. Це є основою для вдосконалення нормативних документів, спрямованих на вирішення цих проблем. Для порівняння та повноцінного вивчення питання покажемо застосування цього типу комплексу за кордоном. Після 2000 року останній тип пристроїв швидко поширився в авіації. Вони згадуються, коли використовується термін «Безпілотний літальний апарат», «Дрон» або абревіатура UAV. Тобто термін «безпілотний літальний апарат» або «БПЛА» відноситься до самого

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

Використання дистанційного картографування на основі БПЛА стає все більш перспективним способом отримання геодезичної основи в містобудівних і кадастрових роботах, особливо для великомасштабних цифрових актуальних карт. Сьогодні дані просторової зйомки в основному використовуються для землеустрою, кадастру та містобудування. Однак головним недоліком космічної фотографії є неточність координат. Помилки можуть коливатися від одного метра до десятків метрів, що може перешкодити виконанню кількох завдань, які потребують більшої точності. Кліматичні, сезонні та інші чинники також впливають на сприйняття інформації, розшифровку об'єктів місцевості та наявні пошкодження, вартість обладнання та програмного забезпечення. БПЛА мають ряд переваг перед іншими методами збору інформації:

- висока деталізація рельєфу, яка досягається за рахунок невеликої висоти, видно дрібні деталі рельєфу
- менша вартість порівняно зі звичайним аерофотозйомкою;
- оперативність, оскільки від відвідування сайту до отримання даних проходить кілька годин;
- екологічна безпека електродвигуна;
- можливість вибору часу доби та погоди.

З метою економії БПЛА рекомендують проводити геодезичні роботи понад 60 га. Також безпілотники можна використовувати для моніторингу технічного стану віддалених і важкодоступних об'єктів.

В Україні геодезія за допомогою дронів тільки починає використовуватися в землеустрої та сільському господарстві, але БПЛА мають дуже великі перспективи застосування. Наприклад, моніторинг земель сільськогосподарського призначення є дуже актуальною темою для аграрного бізнесу.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

Також дрони можуть використовуватися для виявлення незаконного будівництва та об'єктів незавершеного будівництва.

Нарешті, можна уявити перспективи та можливості використання дронів для кадастрових та землепорядних цілей. Очевидною перевагою цього виду запису є створення та оновлення цифрових карт і планів тих територій, для яких немає практичної можливості чи економічної доцільності детального вивчення рельєфу та визначення числових ознак за космічними знімками чи матеріалами. Традиційна аерофотозйомка та фотореалістичні та високоточні 3D-види оброблених даних ще більше розширюють сфери застосування.

Сфера застосування безпілотної авіації дійсно широка. В даний час використання БПЛА є особливо актуальним для аерофотозйомки сільськогосподарських територій, важкодоступних територій, водойм і лісових масивів.

Можливі покращення за рахунок використання безпілотних літальних апаратів:

- ефективність;
- підвищення точності топографо-геодезичних даних;
- створення та оновлення різних цифрових карт і планів;
- створення 3D моделей місцевості;
- контроль за станом земель сільськогосподарського призначення;
- своєчасне виявлення фактів незаконної порубки лісів та контроль за протипожежним станом лісів;
- моніторинг та інвентаризація земель;
- виявлення об'єктів незаконного будівництва.

Фактори, що перешкоджають розвитку ринку:

- відсутність нормативно-правової бази, що забезпечує топографо-геодезичні роботи для інтеграції БПЛА в єдиний повітряний простір;

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

– не до кінця вирішені питання сертифікації, реєстрації, технічних вимог та умов експлуатації приладів.

Отже, виходячи з аналізу використання БПЛА та напрямків їх подальшого розвитку, можна стверджувати, що використання БПЛА є перспективним для вирішення геодезичних та землепорядних завдань. Їх впровадження швидко просувається вперед і займає важливе місце в процесі аерофотозйомки.

1.2 Зарубіжний досвід застосування БПЛА

В останні роки застосування безпілотних літальних апаратів в геодезії, фотограмметрії, геоінформатиці, архітектурі та промисловості набуло великої популярності. По-перше, тому що використання безпілотників дозволяє скоротити час виконання польових робіт у таких завданнях, як топографічне картографування, створення ЦММ та ЦМР, ортофотопланів, 3D моделювання об'єктів місцевості та обстеження промислових об'єктів.

Останніми роками світові виробники безпілотників почали випускати промислові дрони, окрім пристроїв для звичайної фото- та відеозйомки, як-от квадрокоптери серії DJI Matrice 200, які були представлені в Україні у 2018 році. За допомогою додаткової системи РТК можна покращити якість сигналу позиціонування при зйомці в щільній забудові, при огляді підвісних конструкцій або опор мостів. Найбільшою перевагою використання цього модуля є можливість ведення вогню поблизу металоконструкцій та в місцях з магнітними аномаліями, наприклад, у рудних кар'єрах, де використання БПЛА без такого модуля проблематично. Крім того, для контролю стану будівель вже можна використовувати спеціальні датчики з якісною стабілізацією: телевізійні модулі та камери з 30-кратним збільшенням [12].

					КРМ 2 мБЗ 10589155	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Найбільше цінується якісна та швидка фотограмметрична обробка, яка враховує особливості обробки зображень з дронів. За допомогою спеціального програмного забезпечення на основі даних з дронів можна отримати такі типи даних, як хмара точок, матриця висот, текстуровані поверхні, ортофотоплощина тощо. В останні роки було проведено багато роботи в напрямку автоматичної класифікації хмари точок, що дозволяє полегшити обробку даних для отримання цифрової моделі рельєфу. Крім того, вдосконалено реконструкцію текстурованої моделі, яка використовується при візуалізації архітектурних об'єктів.

США були однією з перших країн, яка представила безпілотники в будівельній практиці. У цій країні діють нещодавно запроваджені правила безпілотники, які використовуються в комерційних цілях (включаючи будівництво), не застосовуються бпла важче 25 кг.

В Японії триває подальший розвиток технологій використання дронів з концепції «Розумного будівництва» SmartConstruction стала компанією Komatsu:

Над будівельним майданчиком літатимуть «дрони» компанії Skycatch (США). Розташуйте, збирайте дані та надсилайте їх на спеціальні обладнані пристрої система «штучного інтелекту» Komatsu iMC. За зібраною інформацією дані дронів поєднуються з даними з розташованих 3D-сканерів.

На будівельному майданчику складається програма земляних робіт, згідно з якою бульдозери та екскаватори Komatsu, оснащені iMC, дрони будуть розгорнуті та літатимуть спостерігають за ходом робіт у режимі реального часу. Крім підвищення продуктивності та якості будівельних робіт, технології SmartConstruction та подібні компанії допоможуть усунути дефіцит кваліфіковані робітники на будівництві.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

За останні роки різними компаніями розроблено багато БПЛА в складі мобільних авіаційних комплексів, але досягнуті результати мінімальні, що є прямим наслідком їх дефіциту, чітке ставлення здобувача до проблем, пов'язаних з можливістю науково-виробничого комплексу.

Згідно з дослідженнями ринку іноземних компаній, розробка безпілотних літальних апаратів збільшить рівень проникнення систем авіаційної безпеки. До 2040 року над територією України зможуть постійно літати не менше 50 тис. БПЛА (режим «24\7\365») — єдина система виконання завдань і послуг для задоволення постійно зростаючих різноманітних потреб економіки. У тому числі сільськогосподарського використання. Середня чисельність статистичних працівників, які працюють у розробці та виробництві безпілотних авіаційних комплексів (БЛА), становить до 40 тис., а чисельність працівників компанії – до 40 тис. завдяки комплексним рішенням чисельність досягне 100 000 до 2040 року. Оцінки глобального ринку UAS показують, що до 2040 року комплексні рішення та послуги досягнуть понад 110 мільярдів доларів США. Тому зміниться не тільки структура, а й запити споживачів, до яких доведеться адаптуватися новим лідерам світової конкуренції у виробництві БПЛА.

За даними групи під назвою AUVSI, в офіційному звіті Асоціації систем безпілотних транспортних засобів під назвою «Економічний вплив інтеграції безпілотних систем у Сполучених Штатах» згадується використання БПЛА в сільському господарстві. Це має пріоритет над усіма іншими програмами (усі інші програми будуть закриті).

До 2027 року приблизно 80% ринку БПЛА буде використовуватися в сільському господарстві США. За підтримки держави Україна може досягти частки світового ринку в «агросекторі» до 2040 року – від 5-10% (базовий сценарій) до 15-18% (оптимістичний сценарій). У грошовому еквіваленті:

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

- нормалізований індекс рослинності для послідовних застосувань добрив.

- перелік сільськогосподарських угідь;

- створення 3D моделей фермерського господарства.

Компанія Vine Rangers (Каліфорнія) використовує БПЛА для отримання сільськогосподарських аерофотознімків виноградників, щоб надати подальші рекомендації щодо часу зволоження, зрошення та виявлення хвороб рослин. Компанія збирає дані з дронів і надає доступ до даних менеджерам виноградників. AeroHarvest, як і Vine Rangers, є каліфорнійською компанією, яка спеціалізується на виноградниках. Компанія розробляє відбір води та оптимізацію режиму поливу.

AgWork — спеціалізований спеціаліст із сільського господарства з Північної Кароліни, який обіцяє надати власну програму, яка вибирає оптимальний час збору врожаю та збирає всі необхідні дані з землі та дронів.

Компанія SenseFly (Швейцарія) розробила систему eBeeAg, яка включає в себе польотний модуль з вбудованим програмним забезпеченням eMotion і камеру. Поєднуючи ці компоненти, компанія створює точні 3D-карти.

Компанія Leading Edge Technologies, що базується в Міннесоті, перетворює зібрані дані в «розвідувальні дослідження ферм», які застосовуються до таких програм, як управління врожаєм зернових і прийняття управлінських рішень фермерами.

Wibur-Ellis є великим постачальником сільськогосподарського обладнання, розташованим у Сан-Франциско, який розробляє програмне забезпечення для агрономів і об'єднує дані із супутників і БПЛА.

Trimble Navigation – це каліфорнійська компанія, яка спеціалізується на різних типах програм моніторингу та керування, від моніторингу врожаю до управління водними ресурсами.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

Слід зазначити, що програмне забезпечення вітчизняних розробників (Delta/Digitals) за функціональними можливостями та продуктивністю наближається до зарубіжного програмного забезпечення та, враховуючи свою дешевизну, може конкурувати з ним та знаходити ширше застосування у виробництві. З їх допомогою можна вирішувати конкретні завдання зі створення та оновлення топографічних і кадастрових карт, ортофотопланів тощо. Серед інших систем CFS DIAP (ISM), Voxel Imaging Corporation, SoftPlotter (Autometric, Inc.), SUMMIT (DAT/EM System Int.), DVP (Geomatic System Inc.), ATLAS Digital Stereo Plotter (KLT ASSOCIATES), Realistic Map, ТАЛКА, ТНТ, Z-Space та ін.

1.3 Використання безпілотних літальних апаратів на території України

Реформування земельних відносин в Україні триває вже майже 30 років. З нещодавнім прийняттям Закону «Про державний земельний кадастр» та «Ринок землі» в Україні висунуто нові вимоги до геодезичної складової земельного кадастру. Це пояснюється тим, що неточності у визначеннях роблять кадастрову інформацію ненадійною.

Координати меж земельної ділянки та поворотні точки на її площі призводять до неприпустимих помилок у формуванні бази оподаткування, що обмежує інтереси землекористувачів, а в інших випадках — інтереси держави. Як показує практика, використання традиційних методів геодезичних знімань та результатів їх обробки при проведенні розривної інвентаризації населених пунктів не дозволяє відповісти на питання про точність визначення координат знімальних пунктів, межових знаків і поворотних точок. Це пов'язано з тим, що завдання із землеустрою, як правило, є безсистемними та виконуються без надійного контролю. Все це призвело до того, що з роками проблема коригування меж прилеглих центрів

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

У майбутньому дрони будуть використовуватися в багатьох галузях промисловості. «Найочікуваніша» сфера – це логістика. Це перша і остання миля будь-якого логістичного ланцюга. І зараз технологія готова до впровадження, але недосконалість і невідповідність регуляторної політики не дозволяє цим технологіям «злетіти» в постачанні. Так, наприклад, «Нова пошта» вже кілька разів заявляла про бажання використовувати дрони [6]. ЖКГ – для енергоаудиту будинків, лісництва – для боротьби з незаконною вирубкою, охоронні підприємства – для виявлення порушників. Деякі види дронів розвивають швидкість до 75 км/год, втекти від них зловмисникові доволі важко.

Плюс на дрони монтуються тепловізори, вночі безпілотник може побачити, як відбувається процес охорони і виявити порушника. Стимули і перешкоди. Важливим пунктом у розвитку ринку буде наявність простих і прозорих правил використання БПЛА в Україні. Законодавче регулювання може стимулювати зростання галузі, але може і його «поховати». Тимчасовий порядок використання повітряного простору, ініційований Державіаслужбою, викликає безліч питань і нарікань у «безпілотної» спільноти. Потрібні чіткі правила гри, тобто закон, зрозумілий усім учасникам процесу, в тому числі виробникам, експлуатантам і контролюючим органам.

На підставі аналізу тенденцій використання БПЛА та напрямів їх подальшого розвитку можна стверджувати, що використання БПЛА є перспективним для виготовлення картографічних планів та для вирішення ряду інших завдань. Їх впровадження стрімко розвивається і вони займають гідне місце в процесах аерофотозйомки.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 2
ХАРАКТЕРИСТИКИ ІСНУЮЧИХ БПЛА ДЛЯ
ТОПОГРАФІЧНОГО ЗНІМАННЯ

2.1 Використання сучасних БПЛА

Безпілотні літальні апарати (БПЛА, рідше БЛА) або дрони зарекомендували себе як надійна технологія для створення карт, планів та інших продуктів геоданих [5].

У автономному режимі, але під пильним контролем оператора, БЛА (БПЛА) здатні виконати різні варіанти аерофотозйомки для створення фото та відеопродукції, виготовлення картографічної продукції та 3D моделей, моніторингу змін та виконання різноманітних розрахунків. Щоб виконати аерофотозйомку нам не потрібен аеродром та пов'язана з ним складна інфраструктура.

Переваги зйомки безпілотними літальними апаратами:

- Швидкісні та економічні. Аерофотозйомка досі залишається найбільш продуктивним методом документування стану місцевості. Раніше аерофотозйомка з повітря виконувалася тільки із використанням великих літаків. Такий підхід супроводжувався певними обмеженнями. Було економічно недоцільним виконувати аерофотозйомку невеликих об'єктів, а роздільна здатність знімків дуже залежала від регламентних та технічних обмежень щодо використання літака та повітряного простору. Поява дронів все змінила. Чи це невеликий населений пункт, чи будівельний майданчик чи гідротехнічна споруда дрон зніме все.

- Детальність та повнота. Погляд згори завжди давав можливість оцінити ситуацію більш комплексно, побачити приховане, побачити зміни. Аерофотозйомка із використанням БЛА (БПЛА) дозволяє отримувати знімки із роздільною здатністю менше 1 см на піксель. Необхідна (доцільна) детальність зйомки визначається цілями проекту або площею дослідження.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Можливість розрізнити на знімках найдрібніші деталі, їх автоматизована обробка та аналіз дозволяють створювати інтелектуальні продукти геоданих, які описують місцевість та процеси, що відбуваються на ній. Кожен піксель зображення може містити критичні дані про місцевість або об'єкт. Більшість таких проектів супроводжуються процесами польового дешифрування результатів аерофотозйомки, тобто, окрім зображень, надаються ситуаційний план та опис характеристик точок цікавості (POI), які неможливо отримати з повітря.

- Якість та безпека. Досягнення очікуваних параметрів якості кінцевої продукції базується на професіоналізмі операторів, технічних можливостях БЛА (БПЛА) та камер, дотриманні технічних вимог та контролю якості кожного етапу виконання робіт. Проект починається з дуже ретельного планування маршрутів зйомки та їх перекриття, оскільки ці параметри мають критичний вплив на точність та якість кінцевого продукту. Найкращий варіант буде обрано залежності від цілей проекту, конфігурації об'єкту зйомки, вимог до кінцевого результату, строків та очікуваної вартості. Для досягнення необхідних параметрів точності аерофотознімання розробляється проект планово-висотної прив'язки, що гарантує необхідну надійність даних та досягнення вимог діючої інструкції та нормативних актів щодо точності готової картографічної продукції

- Гнучкість та комплексність. Результати аерофотозйомки являють собою основу для виробництва численних похідних продуктів геоданих, які можуть бути використані для різних напрямків професійної діяльності клієнта: проектування, будівництва, аудиту та документування, моніторингу змін, розробки земельної та містобудівної документації, аналізу ризиків техногенного та природного походження, імітаційного моделювання, пошуку інвесторів та багато іншого [8].

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Глибоке розуміння технологій дозволяє нам об'єднувати в єдину модель різні дані, отримані в результаті аерофотозйомки, картографії, лазерного сканування, батиметричних досліджень, геодезичного моніторингу, геологічних досліджень та гідродинамічного моделювання. Гнучкість технологій на базі БЛА дозволяє доповнити та покращити будь-який проект за рахунок швидкого та недорогого виробництва актуальних, детальних та надійних локальних даних про об'єкт без проблем з доступом до нього та пов'язаних із дослідженням ризиками.

Безумовно, рішення, які базуються на використанні БЛА (БПЛА), мають певні технологічні обмеження. Але дрон, як і будь-який інструмент, буде вдало працювати в умілих руках.



Рисунок 2.1 - Приклад БПЛА, який виконує аерофотозйомку

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

На цьому фото (рис. 2.1) зображено, як БПЛА находячись у повітрі виконує аерофотозйомку. Можна зауважити, що у даному випадку, це квадрокоптер DJI, серії PHANTOM, який є дуже поширеним. Також має свій модуль камери, яка керується з пульта оператора БПЛА.



Рисунок 2.2 - Приклад, як працює оператор з БПЛА

На цьому зображенні (рис. 2.2) відображено, як оператор БПЛА керує аерофотозйомкою, находячись безпосередньо на об'єкті, де виконується зйомка. Також варто зазначити, що у даному випадку оператор керує сучасним квадрокоптером DJI Mavic Enterprise Dual, який підтримує керування за допомогою окулярів віртуальної реальності. Що дозволяє оператору бачити зображення з камери дрону від першої особи, що дає можливість більш точно та ювелірно контролювати роботу БПЛА та корегувати політ.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

сходів і розрахунок вегетаційних індексів. «Також багато підприємств зараз цікавляться послугами зістворення карт диференційованого внесення азотних добрив і внесення засобів захисту рослин за допомогою дронів.

Безпілотники також стали активно застосовуватися в геодезії і топографії. А останнім часом, низка великих видобувних компаній теж розпочали роботу з дронами для оцінки обсягів видобутої породи, вимірювальних робіт [9].

Важливим пунктом у розвитку ринку буде наявність простих і прозорих правил використання БПЛА в Україні. Законодавче регулювання може стимулювати зростання галузі, але може і його «поховати». Тимчасовий порядок використання повітряного простору, ініційований Державіаслужбою, викликає безліч питань і нарікань у «безпілотної» спільноти. Потрібні чіткі правила гри, тобто закон, зрозумілий усім учасникам процесу, в тому числі виробникам, експлуатантам і контролюючим органам.

Отже, розглянувши напрямки, типи та можливості сучасних дронів перейдемо безпосередньо до їх характеристик.

Для аерофотозйомки ми використовуємо професійні БЛА (БПЛА) та камери. Використання двочастотних GPS, технологій PPK/RTK, камер із великою матрицею та об'єтивів без дисторсії та хроматичних аберацій, оцифровка по стереозображенням дозволяє із легкістю виконувати вимоги до створення топографічних планів масштабу 1:5000 – 1:1000 та частково 1:500. Результати аерофотознімання проходять польовий контроль точності готової продукції. У порівнянні із літаком чи гелікоптером, дрони мають мініатюрний розмір, не мають палива на борту, обладнані парашутною системою та дублюючими навігаційними системами і не можуть завдати шкоди об'єктам інфраструктури та спорудам [10].

Існує декілька розділів характеристик БПЛА:

Базові, до них можна віднести такі параметри:

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

- Автономність польоту
- Максимальна швидкість дрону
- Максимальна висота польоту
- Кількість двигунів та гвинтів (трикоптер, квадрокоптер, гексакоптер, тощо)
- Тип органу керування (свій пульт з дисплеєм та ПЗ або під'єднувальним до смартфона)
- Наявність додаткових захисних елементів, дуг та інше.

Кожен виробник БПЛА має свій визначений обсяг параметрів і всі вони можуть відрізнятися. Також наявність тих чи інших параметрів, та їх максимальне значення, залежить від вартості та моделі того, чи іншого БПЛА.

Додаткові, до додаткових характеристик БПЛА можна віднести спеціалізовані модулі та обладнання яке встановлюється на дрон для досягнення визначеної мети.

У галузі геодезії, землеустрою, аерофотозйомки використовуються наступні модулі, які встановлюють на БПЛА:

БПЛА з RTK модулем.

Дрони із вбудованою системою позиціонування RTK – це не майбутнє, а реальність. Давайте визначимо, що це таке, де застосовується і розглянемо найкращі безпілотники з вмонтованою навігаційною системою RTK.

RTK (Real Time Kinematic), що у перекладі означає "кінематика реального часу". Іншими словами, це сукупність різних способів отримання планових координат місцевості сантиметрової точності за допомогою супутникової системи навігації. Вперше цей метод був виявлений у середині 90-х, але тривалий час перебував на стадії розробки. Останнім часом ця технологія стає все більш популярною в галузі точного землеродіння, сільського господарства, будівництва, видобутку корисних копалин тощо.

У RTK використовується двочастотне обладнання. Передані дані – це вимірювання фазової корекції в реальному часі для мобільного приймача

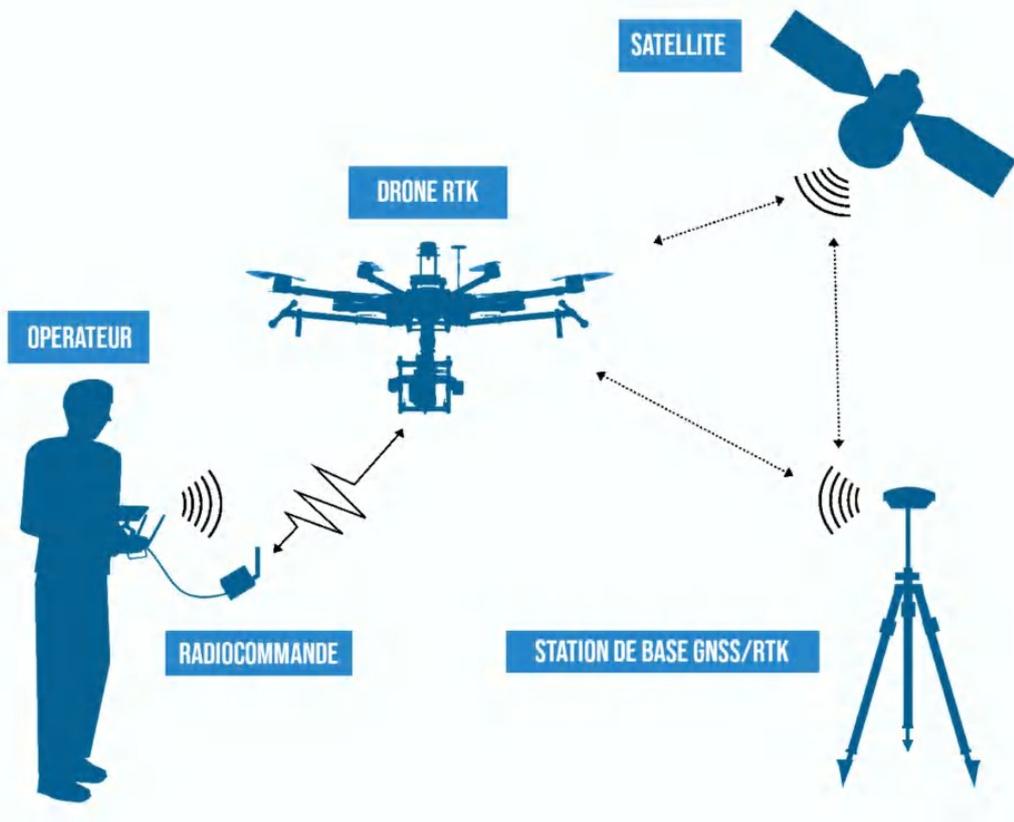


Рисунок 2.4 - Схема роботи БПЛА з RTK модулем



Рисунок 2.5 - Приклад БПЛА з RTK модулем (DJI Matrice 300 RTK)

Лідар (транслітерація LIDAR англ. Light Identification, Detection and Ranging) — технологія отримання та обробки інформації про віддалені

					<i>KPM 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

світлодіоди. Однак, в основних сферах застосування технології (дослідження атмосфери, геодезія та картографія) з радіусами дії від сотень метрів до сотень кілометрів, застосування лазерів неминуче [10].

Такі модулі також встановлюються на БПЛА з RTK, що дозволяє отримати хмару крапок певного об'єкта, з прив'язкою у потрібній системі координат. Це дуже потужний інструмент, який дозволяє виконувати практично будь які завдання у картографії, топографії, геодезії та інше.

На цьому зображенні один з найсучасніших БПЛА з LIDAR. На його прикладі розглянемо комплекс можливостей, які можна застосовувати у цій галузі.

Автономний літаючий сканер Leica BLK2FLY. Інноваційне рішення від Leica Geosystems. BLK2FLY – перший у світі повністю інтегрований БПЛА з технологією LiDAR. Це самостійний літаючий лазерний сканер із удосконаленою функцією обходу перешкоди, для зручного захоплення реальності з висоти. Він призначений для зйомки екстер'єрів будівель, конструкцій та навколишнього середовища, створюючи хмару точок під час роботи.

Літаючий лазерний сканер - нове рішення максимально просте у використанні, але при цьому ефективно при виконанні знімальних робіт різної складності.

Легкість в керуванні, нова система сканування чорної лінійки BLK не складна у застосуванні і спирається на елементи управління, на основі додатків. Для початку роботи, потрібно розгорнути та увімкнути пристрій, керування ведеться дистанційно у програмі BLK2FLY Live. У додатку є функція планування проектів, квадрокоптер самостійно літатиме виконуючи свою місію. Є можливість відслідковувати або змінювати траєкторію БПЛА в режимі реального часу. У разі потреби, є опція керувати пристроєм вручну, за допомогою віртуальних джойстиків. Безпілотник спроектований так, щоб бути максимально зручним у використанні. З використанням декількох

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

простих натискань на планшеті, користувачі можуть підняти дрон у повітря для автономного сканування зовнішньої частини будівель та важкодоступних областей даху та фасаду [12].

Програма BLK2FLY Live має функцію відстеження польоту. Інші опції включають панорамний перегляд для зміни напрямку видимості, масштабування зображення в реальному часі, при цьому безпілотник відповідним чином адаптує свою точку огляду. Легко змінювати траєкторію польоту квадрокоптера, для захоплення нової області, обравши область, через систему крапок безпосередньо у 3D-вигляді у додатку на планшеті. Дрон створює траєкторію польоту для швидкого та безпечного сканування цієї зони.

Застосування у будівництві та архітектурі. Це рішення легко може супроводжувати хід будівництва, на кожному його етапі, при цьому заощаджуючи час, підвищуючи точність зйомки радара, за допомогою самостійного робочого процесу сканування. Легко візуалізуються вихідні умови, для реконструкції фасадів, за допомогою БПЛА, який пропонує самоврядний, але простий метод захоплення реальності на основі дрону. БПЛА самостійно скануватиме весь зовнішній вигляд будівлі з повітря, при цьому, надаючи високу точність відображення реальності, навіть у важкодоступних місцях.

Використовуючи дрон перед початком реконструкції, для отримання високоякісної 3D моделі будівлі. За заданою оператором лінійної траєкторії, BLK2FLY самостійно здійснює захоплення реальності, при цьому адаптуючись до навколишнього середовища, в якому він літає. Уникаючи перешкод і зберігаючи ідеальну відстань для якісного сканування, самостійно фіксує зовнішні особливості та розміри будівель. Вся отримана інформація виводиться на планшеті кількома операціями.

Використання у картографії. Новий погляд на вимірювання від Leica Geosystems об'єднує всі системи безпілотного літального апарату (рис. 2.7), а

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

також LiDAR (рис 2.8), радар та GNSS, за допомогою яких, виконує самостійне сканування території, з прив'язкою до географічних координат. Це портативний і простий у використанні пристрій, з яким процес збору картографічного матеріалу відбувається набагато швидше і якісніше. Застосовані рішення, дозволять легко фіксувати потрібні точки, отримуючи їх точні координати, не припиняючи зйомку з повітря.



Рисунок 2.7 – Візуалізація роботи БПЛА з RTK модулем та LiDAR

Якісна технологія захоплення реальності у польоті. Під час польоту, сканування здійснюється відразу вгору та вниз, в обидві сторони одночасно. Наявність 5-ти камер по всьому периметру, зовні пристрою, дозволяє їх використовувати для відстеження та розфарбовування хмар точок і візуалізуючи їх відразу на планшет, для управління. Під час роботи, використовуються радарні датчики разом з LiDAR, щоб вчасно виявляти перешкоди, та уникати їх. Особливо важлива ця функція для виявлення

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

скляних конструкцій, як перешкоди при скануванні великих сучасних будівель.

Актуальні завдання:

- Швидке виконання проекту завдяки ефективному способу зйомки;
- Висока точність та надійність вимірювань;
- Швидка передача інформації для обробки;
- Фіксація розташування;
- Захоплення навіть найважчих елементів архітектури.

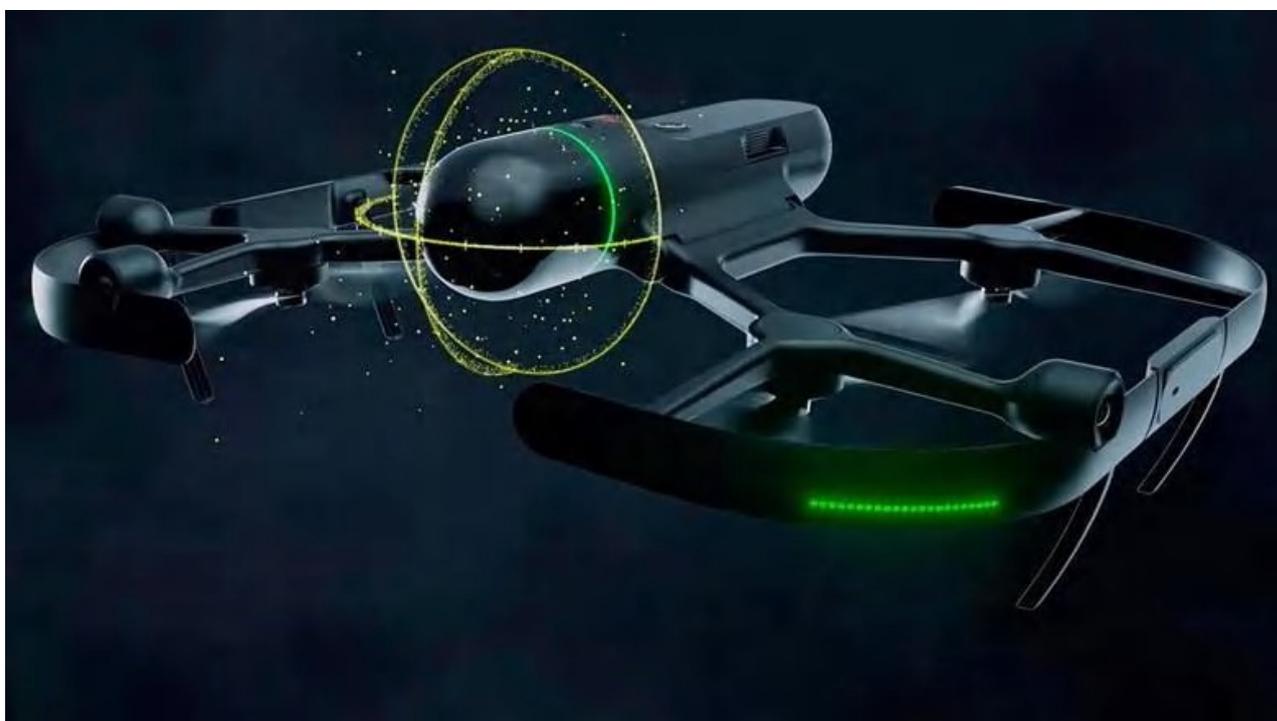


Рисунок 2.8 – Візуалізація роботи БПЛА з RTK модулем та LIDAR

					КРМ 2 мБЗ 10589155	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

РОЗДІЛ 3
НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ
ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ
ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ З БПЛА

3.1 Загальна характеристика території топографічного знімання

Книшівка – село в Кременчуцькому районі Полтавської області. Населення – 105 осіб, площа – 0,88 км². Орган місцевого самоврядування – Новогалещинська селищна об'єднана територіальна громада. Село Книшівка знаходиться на лівому березі річки Псел, вище за течією на відстані 4 км розташоване село Піски, нижче за течією на відстані 2,5 км розташоване село Йосипівка, на протилежному березі — село Ламане. Річка в цьому місці звивиста, утворює лимани, стариці та заболочені озера. Поруч з селом проходить газопровід.

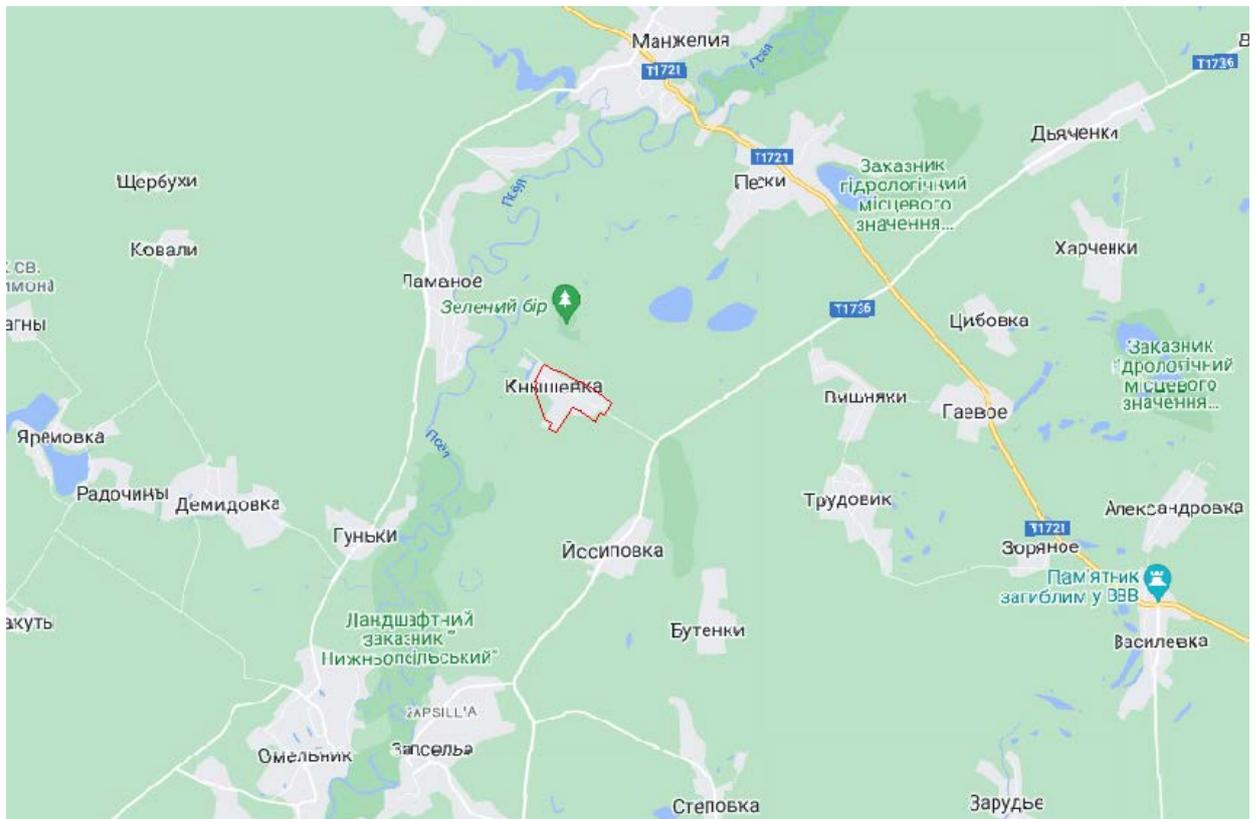


Рис. 3.1. Схема розташування с. Книшівка

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

Ландшафт території включає в себе лівобережну заплаву низького рівня та декілька підвищень, які вкриті лісом або трав'янистим покривом природного походження.

Рельєф на об'єкті рівнинний, з перепадами висот від 66 м до 77 м.

Ґрунти відносяться до таких основних типів: суглинисті чорноземи заплавні, болотні. Найбільш розповсюджені – чорноземи, найродючіші види ґрунтів. Вони займають більшу частину території серед орних земель і сільськогосподарських угідь. Разом з тим, ґрунти тут легко піддаються механічному руйнуванню внаслідок ерозії. Площа ерозійно небезпечних сільськогосподарських земель доволі велика. Висока активність ерозії пов'язана з надмірною розораністю земель. Незважаючи на значні площі, зайняті чорноземами, та високий вміст гумусу в ґрунтах, мають місце процеси, що негативно позначаються на стані ґрунту та зменшують його родючість. Основним процесом є втрата гумусу ґрунту. Через високий рівень господарської, в тому числі сільськогосподарської, освоєності території, більша частина – змінені господарською діяльністю людини, тому ландшафти відносяться до антропогенних.

Гідрографія. Ґрунтові води залягають на глибині до 15 метрів. Найбільша глибина промерзання ґрунту – 0,9 м. Село Книшівка знаходиться на лівому березі річки Псел. Річка в цьому місці звивиста, утворює лимани, стариці та заболочені озера.

Рослинність. На околицях села розташовані поля, полезахисні лісосмуги і обсадки вдовж доріг висотою до 20 м. Неподалік с. Книшівка знаходить природний заповідник "Зелений бір" та "Ксендзівський" гідрологічний заказник місцевого значення. Село добре озеленене.

Клімат помірно-континентальний, м'який, достатньо вологий. Зима малосніжна, нестійка, порівняно тепла, літо тепле і помірно вологе. Середня температура повітря за рік становить 7,6-8,6°C. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) становить 3,6-4,4°C морозу, середня температура

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

липня (найтеплішого місяця) – 20,5-21,6°C тепла. Режим зволоження території створює в цілому позитивний баланс вологи в ґрунті. Рельєф яружно-балковий, в районах лісостепу значну повторюваність мають ґрунтові засухи, які негативно впливають на розвиток сільськогосподарських культур. У цілому, кліматичні умови об'єднаної громади сприятливі для людей і розвитку сільськогосподарського виробництва.

Дороги. Село Книшівка розташоване біля автодороги О-1720382. По околицях добре розвинута мережа доріг.

Забудова переважно одно- та двоповерхова. Будинки цегляні. Рух транспорту та пішоходів малої інтенсивності. Село електрофіковане, газифіковане та забезпечене засобами зв'язку.

3.2 Зйомочне обґрунтування та вибір мультикоптерів для топографічного знімання

Геодезичною основою топографічної зйомки є пункти геодезичних та нівелірних мереж та знімальної геодезичної мережі. Пункти державної геодезичної мережі III та IV класів та геодезичних мереж згущення 1-го та 2-го розрядів визначаються методами тріангуляції, трилатерації та полігонометрії та їх комбінації. Пункти мережі нівелювання II, III та IV класів визначаються методами геометричного нівелювання [17]. Знімальна геодезична мережа будується з метою згущення геодезичної планової та висотної основи до щільності, що забезпечує виконання топографічної зйомки. Кількість точок знімального обґрунтування для незабудованої території залежить від масштабу зйомки.

Для калібрування GNSS-пристроїв було обрано, знайдено та оглянуто три пункти Державної геодезичної мережі, неподалік від місця знімання.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

- час польоту;
- розмір;
- можливість зависання над точкою;
- ціна.

Порівняльна характеристика БПЛА літакового та вертолітного типів (табл. 2.2)

Таблиця 3.2.

Порівняльна характеристика БПЛА літакового та вертолітного типу

Критерії	БПЛА літакового типу	БПЛА вертолітного типу
Вага, кг	від 1 до 10 000	від 1 до 5000
Максимальна висота польоту, м	від 1000 до 20 000	від 500 до 5000
Час польоту від одного акумулятора, год	від 1 до 24	від 0,5 до 10
Можливість зависання над точкою	відсутня	присутня
Швидкість, км/год	від 100 до 900	від 50 до 500
Дальність польоту, км	від 10 до 5000	від 10 до 5000
Ціна	від 10 000\$	від 1000\$

Також для картографування застосовують космічне знімання, яке має багато недоліків:

- немає гарантій, що знімок буде безхмарним;
- висока вартість космічних знімків (оскільки знімок може охоплювати 200 км²), а мінімальна площа замовлення – 25 км², тому замовник часто сплачує за ділянки, які його не цікавлять. Отже, проводити знімання невеликих об'єктів стає недоцільним;
- не завжди є можливість отримання стереопар;

- точність визначення координат значно гірша за інші методи знімання;
- низька оперативність знімання, якщо супутник знаходиться поза зоною сканування.

Недоліки тахеометричних знімачів:

- необхідна видимість між приладом знімання і об'єктом;
- низька оперативність знімання; залежно від обсягу робіт може займати великий проміжок часу.

Основним недоліком тахеометричної зйомки є те, що складання плану місцевості виконується у камеральних умовах на підставі тільки результатів польових вимірювань і абрисів. При цьому не можна своєчасно виявити допущені помилки тільки звіренням плану з місцевістю.

Оптимізувати проміжок часу між обстеженням, покращити точність та деталізацію знімків, а також підвищити оперативність вишукувальних робіт, можливо за допомогою застосування безпілотників. Для розуміння наявних типів БПЛА, в залежності від необхідних цілей вишукування та сфер застосування, на рис. 3.3 представлена їхня класифікація [4].

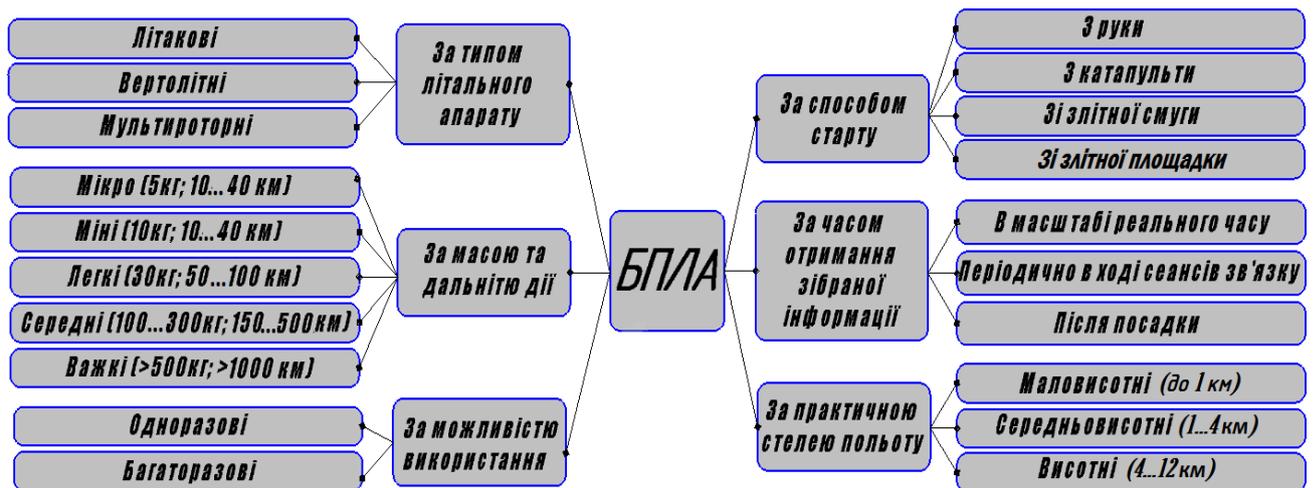


Рис. 3.3. Класифікація БПЛА

Час підготовки до початку виконання завдання	Не потрібне (Виконується оператором знімань)	30–60 хв	5–15 хв	5–15 хв
Висота (км)	200 – 800 км	0,5–2 км	від 100–300 м	–
Максимальна точність визначення координат (м)	Планова: 0,31 – 0,4 Висотна: 1–3 (WorldView-3)	Планова: 0,1 Висотна: 0,3–0,5	Планова: 0,02 Висотна: 0,04 (Trimble UX-5)	0,03 на 1 км (Trimble 5601 DR Standart)
Проект робіт	Не потрібне (Виконується Центром керування супутниковою знімальною системою)	За допомогою бортового комп'ютера	За допомогою польового контролера	Не потрібно
Час проектування та проведення ПВП год на 1 км²	1,5–2	1,5–2	1,5–2	Не потрібно
Управління процесом робіт	Автоматично (але за програмою формується та передається на супутник Центром керування супутниковою знімальною системою) [Козуб А. М., 2011]	Пілот та штурман	Автоматично або за допомогою пульта керування [Цепляева Т. П., 2008]	Геодезист
Оцінка якості отриманих матеріалів	Результати отримуються впродовж кількох тижнів	Одразу після завершення	Одразу після завершення	Не можна своєчасно виявити помилки

З вище представлених типів БПЛА для задач зйомки в межах населених пунктів найкраще підходить безпілотний літальний апарат вертолітного типу. Переваги легкого безпілотного літального апарату малого радіусу дії вертолітного типу полягають в

програмного забезпечення Pix4DCapture – хмарний сервіс і додаток для побудови 2D-карт високої роздільної здатності та 3D-моделей місцевості. Сумісні дрони: DJI Mavic Pro, Phantom 3/3 Adv/3 Pro, Phantom 4/4 Pro, Inspire 1/1 Pro, Matrice 100/600. Додаток для iOS і Android замінює собою стандартний додаток DJI Go 4 для управління дроном. У мобільному додатку можна спланувати маршрут і запустити дрон в політ по розрахованому маршруту. Він автоматично зробить фото в потрібних точках і під певним ракурсом. Після польоту відзняті фото з SD-карти пам'яті необхідно завантажити на сервер Pix4D для обробки. Після обробки фотоплани і 3D-моделі можна подивитися як через мобільний додаток так і через браузер, а також надіслати поштою з можливістю перегляду в браузері без спеціального ПО. Мобільний додаток може працювати в оффлайн-режимі з попередньо збереженим маршрутом і картами Google Maps. Додаток дозволяє продовжити політ за маршрутом з перерваного місця після зміни акумулятора або вимикання апарата. Встановлюється роздільна здатність 12 мегапикселів (3000x4000 пікселів), висота польоту 300 метрів, швидкість квадрокоптера встановлюється у розмірі 5 м/с, повздовжнє перекриття 80 % та поперечне 60 %, встановлюється положення стартового майданчика. Після проведених робіт на підготовчому етапі можна переходити до етапу проведення аерофотозйомки. Проводиться перевірка та уточнення введених на підготовчому етапі даних. Визначається місце стартового майданчика на місцевості та точки повернення квадрокоптера. Автоматично уточнюється план польоту і повторно перевіряється на можливість виконання.

Порядок вибору точки старту і посадки БПЛА наступний:

- точка старту повинна перебувати з мінімальним віддаленням від досліджуваних об'єктів;

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

- визначити напрямок маршруту щодо оператора БПЛА і переконатися у відсутності перешкод в цьому напрямку для забезпечення прямої видимості;
- визначити напрямок запуску і переконатися у відсутності перешкод в цьому напрямку;
- переконатися у відсутності перешкод в зоні посадкового майданчика; при цьому слід врахувати, що на посадку апарат заходить вертикально під прямим кутом, точка старту польоту є точкою повернення в режимі автоматичної посадки і аварійної посадки в разі втрати зв'язку;
- для безпечного запуску і посадки БПЛА необхідно відсутність перешкод: будівель, щогл, вишок, заводських труб висотою понад 50 м на віддаленні 100 м;
- майданчик посадки вибирається поблизу точки старту з урахування можливості візуального контролю оператором заходу на посадку і посадки БПЛА;
- для посадки БПЛА вибирають рівну ділянку місцевості діаметром не менше 50 м з трав'яним або твердим покриттям; на майданчику не повинно бути предметів, при приземленні на які може призвести до пошкодження БПЛА.

Виконується запуск безпілотного літального апарату за допомогою пульта, і він в автоматичному режимі здійснює зліт, вихід на задану програмою висоту і починає виконувати польотне завдання.

Під час польоту автоматично виконується фотозйомка та визначення центрів фотографування за допомогою GPS / ГЛОНАСС приймача. Оператор на землі в режимі онлайн отримує дані телеметрії (координати, висота, крен, тангажу і ін.). Всі параметри відображаються на екрані контроллера, і оператор в онлайн режимі контролює процес виконання робіт, а також може в будь-який момент змінити поставлену задачу.

						<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			57

з інтелектуальною системою, котра допомагає пілоту. Навіть на відстані 2 км вбудована технологія надає вам повною мірою керувати квадрокоптером, сформоване польотне завдання завантажується в автопілот дрона. У польоті всім процесом аерозйомки керує бортова електроніка за допомогою даних GPS/ГЛОНАСС датчиків та передає на пульт відео високої якості в режимі online. Він робить як фото так і відео, для цього треба тільки підключити телефон або планшет і можна побачити все, що бачить камера квадрокоптера.



Рис. 3.5. Квадрокоптер DJI Phantom 4

Даний апарат має наступні технічні характеристики:

- ✦ макс. швидкість зльоту 6 м / с;
- ✦ макс. швидкість приземлення 4 м / с;
- ✦ точність польоту: по вертикалі: +/- 10 см, по горизонталі: +/- 30 см;
- ✦ макс. швидкість польоту 20 м / с;
- ✦ макс. висота польоту 6000 м над рівнем моря;

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

- + підвіска 3х-осьова, радіус контролю підвіски тангаж від-90°до +30°;
- + об'єктив f/2.8 (35-мм еквівалент), 20 мм кут огляду 94°;
- + ISO – 100-3200 (відео), 100-1600 (фото);
- + макс. роздільна здатність фотознімків 4000×3000;
- + режими фото: окремий знімок, 3/5/7 знімків, автоматичний експобрекетінг;
- + Відео: UHD: 4096x2160p (24/25 кадрів в секунду), 3840x2160p (24/25/30 кадрів в секунду), 2,7K 2704x1520p (24/25/30 кадрів в секунду), FHD 1920x1080p: (24/25/30/48/50/60/120 кадрів в секунду), HD: 1280x720p (24/25/30/48/50/60 кадрів в секунду);
- + підтримка карток пам'яті: SD / SDHC / SDXC Micro SD;
- + максимальний об'єм: 128 GB, швидкість: Class 10 або UHS-1;
- + максимальний бітрейт відео 60 Мбіт / сек;
- + підтримувані формати файлів- фото: JPEG, DNG, відео: MP4/MOV (MPEG-4 AVC/H.264);
- + польотний час – близько 28 хвилин (офіційно);
- + температура робочого середовища від 0 ° C до 40 ° C;
- + підтримування ОС: iOS 8.0 або вище, Android 4.1.2 або вище.

Результат обробки зйомочних даних. Обробка даних полягає в знятті даних (фотознімки і журнал польоту) з бортових носіїв інформації, візуальній оцінці якості фотографій і видалення невдалих кадрів, або кадрів, які знаходяться поза межею знімальної ділянки.

Прив'язка знімків до точок з відомими координатами проводиться вручну за допомогою програмного забезпечення. У програмному забезпеченні Pix4DCapture проводиться генерація цілісного ортофотоплану з 831 окремих знімків та 3D-моделі ділянки місцевості. На виході отримано ортофотоплан (рис 3.4) – система координат СК63, роздільна здатність

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

5000x5000 пікселів, точність 3,45 см на піксель та 3D-моделі ділянки місцевості.

Після отримання вихідних даних (фотоплану) переходимо до його дешифрування.

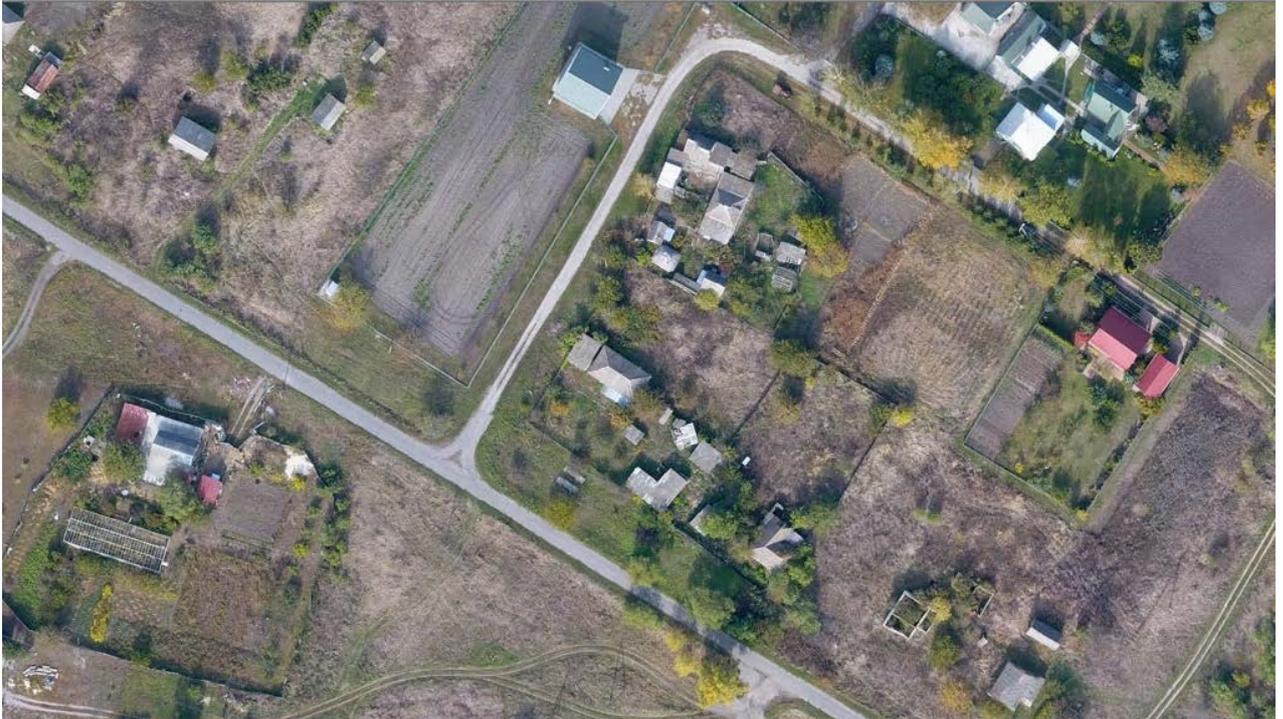


Рис. 3.6. Ортофотоплан ділянки місцевості в с. Книшівка, Кременчуцького району, Полтавської області

3.3. Оптимізація зйомочного процесу безпілотними літальними апаратами

Розвиток цифрових технологій та їх використання у різних сферах розвитку суспільства змінило основні підходи до багатьох областей науки та освіти. Не обійшло це і сфери будівництва і архітектури, які також почали застосовувати передові методи для свого вдосконалення.

Сучасне інформаційно-комп'ютерне проектування для вирішення питань обґрунтування інвестицій різних об'єктів, від будівель, автомобільних

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

шляхів і залізниць до містобудування, потребує оперативного одержання високоточних даних про поверхню землі. Необхідність в якісній топографічній основі місцевості весь час зростає, а терміни виконання всього комплексу вишукувальних робіт скорочуються. Крім того, сучасні ринкові відносини змушують шукати і використати те нове, що може сприяти поліпшенню якості робіт при одночасному скороченні витрат часу, і, отже, підвищувати конкурентоспроможність підприємства. Класичної двовимірної топографічної зйомки вже не завжди достатньо для розробки оптимальних проектних рішень, тому змінюється інструментарій та методика ведення роботи.

На сьогоднішній день топографічні геодезичні дослідження охоплюють такі види робіт: тахеометрична зйомка, космічна зйомка, лазерне сканування, аерофотозйомка і фотограмметрія.

Тахеометрична зйомка – метод польових робіт за допомогою теодоліта або тахеометра і далекомірної рейки.

Космічна зйомка – метод отримання даних за допомогою приладів, що знаходяться за межами земної атмосфери.

Фотограмметрія – дисципліна, що займається отриманням по фотозображенням об'єктів їх характеристик.

Аерофотозйомка – отримання фотознімків земної поверхні спеціальними аерофотокамерами з літака або супутника.

Лазерне сканування дозволяє створювати реалістичні моделі 3-х мірного типу за допомогою спеціального лазерного сканеру [8].

На даний час тахеометрична зйомка, як і раніше, є одним з найпоширеніших видів, затребуваним у архітектурному та містобудівному проектуванні, який вимагає затратних польових геодезичних робіт і досить довгої камеральної обробки. Крім того, при складанні плану в камеральних умовах виключається можливість його порівняння з місцевістю, що

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

приводить до пропусків окремих об'єктів зйомки, певних перекручувань в зображенні рельєфу місцевості.

Оптимізація зйомочного процесу можлива при застосуванні технічних засобів, які дозволяють автоматично спрощувати хід і виконання цих робіт. Тому в даній роботі розглядається оптимізація саме при аерофотозніманні.

З часу запуску перших космічних супутників для цілей ДДЗ розвивається теорія і практика з використання отриманих даних для виготовлення топографічних основ різних масштабів. Однак, як вартість супутникових знімків, так і собівартість застосування літаків та гелікоптерів, для локального знімання з повітря, на сьогоднішній день, є високою. Тому дуже велика кількість локального знімання припадає на безпілотники, адже за допомогою них це можна зробити швидко і в рази дешевше. Крім того безпілотні літальні апарати здатні давати необхідні своєчасні та якісні дані для ефективного ведення будь-якого кадастру.

Типове аерофотознімальне обладнання безпілотних літальних апаратів, як правило, містить цифрову камеру або відеокамеру, інколи розташовану на гіростабілізованій платформі, та інфрачервону чи спектральну камеру. У деяких випадках БПЛА обладнують лазерними сканерами. Найбільш необхідними для сільського господарства є матеріали мульти-, гіперспектральних і радіолокаційних зйомок, що дозволяють формалізувати зображення при обчисленні спектральних коефіцієнтів і складанні індексних карт. На таких картах відображають різні характеристики ґрунтів і рослинності, що дозволяє виконати комплексний аналіз стану с/г угідь і спроектувати заходи щодо підвищення їхньої продуктивності. Для створення топографічних планів достатньо ж і звичайної цифрової камери [12].

У технічному плані процес аерофотозйомки з використанням БПЛА складається з трьох етапів: підготовчого, власне зйомки, і постобробки отриманих даних.

Підготовчий етап. На даному етапі проводиться:

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

– вивчення наявних матеріалів; формування або збір вимог до матеріалів, які потрібно отримати за результатами зйомки – тип і масштаб карти, межі об’єкта зйомки; приведення їх до технічних вимог до знімальних матеріалів: дозвіл, координати контуру ділянки зйомки, перекриття знімків, точність визначення координат центрів фотографування, вимоги до наземної опорної мережі (при комбінованій зйомці, наприклад, коли прив’язка фотоплана проводиться по точках наземної опорної мережі, вимоги до точності визначення взагалі не пред’являються);

– формування польотного завдання для БПЛА. Виконується програмою-планувальником польоту (рис. 3.1), що входить до складу комплексу. Оператор повинен вибрати використовуваний комплекс БПЛА (у разі, якщо програма дозволяє працювати з декількома конфігураціями БПЛА і фотоапаратури), поставити на карті контур ділянки зйомки та положення стартового майданчика, встановити необхідну роздільну здатність і перекриття, після чого програма розраховує план польоту і перевіряє його на можливість виконання.

По прибутті на стартовий майданчик проводиться:

– уточнення положення стартового майданчика, визначення точки повернення та введення даних про швидкість і напрямок вітру на робочій висоті, якщо такі відомі;

– автоматичне уточнення плану польоту і повторна перевірка його на можливість виконання;

– старт БПЛА з пускового пристрою;

– виконання зйомки в автоматичному режимі;

– посадка.

При використанні комбінованого способу виконується визначення координат опорних точок, обраних для прив’язки.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		64

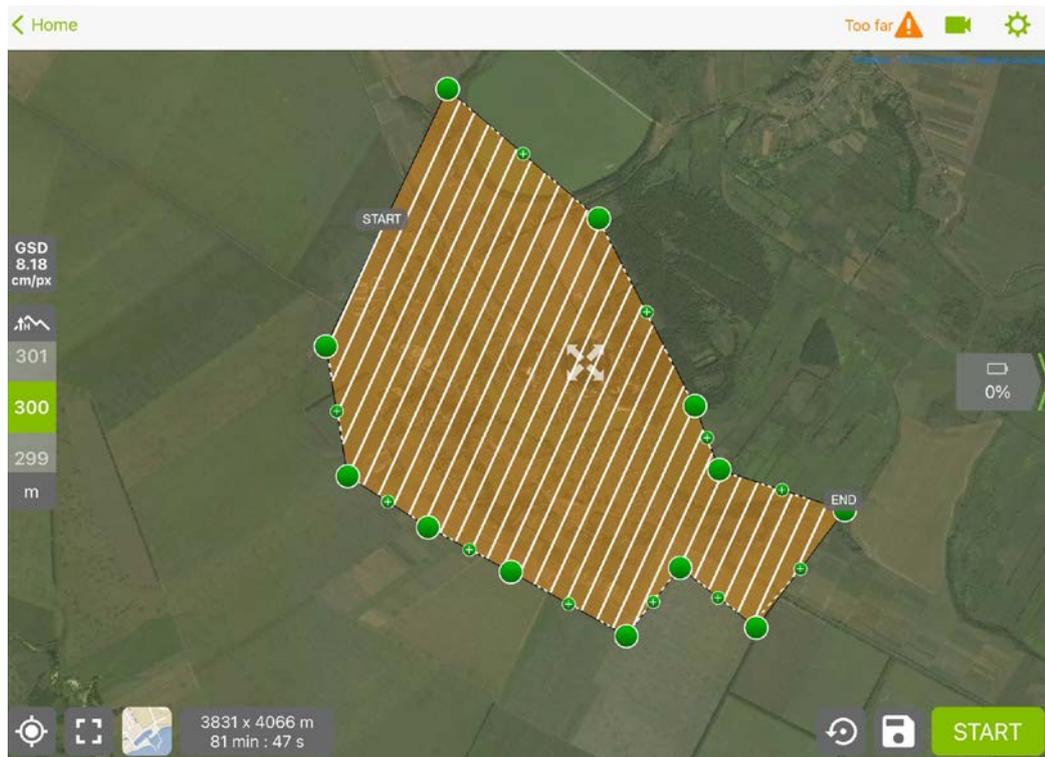


Рис. 3.7. Формування польотного завдання для безпілотної літальної апаратури за допомогою програмного забезпечення Pix4DCapture

Обробка даних полягає в:

- зняття даних (фотознімки і журнал польоту) з бортових носіїв інформації;
- візуальній оцінці якості фотографій і видалення "технічних" кадрів, якщо такі записані. Під технічними кадрами розуміються знімки, зроблені поза межами ділянки зйомки – при підльоті до ділянки, на дугах розвороту та інші фотознімки не вдалої якості;
- генерація файлу прив'язки центрів фотографування. В ході польоту апаратура управління веде запис різних параметрів, серед яких – координати, швидкість і параметри орієнтування літальної апаратури. Після закінчення зйомки з файлу журналу польоту необхідно вибрати координати, що відповідають моментам фотографування, і приписати їх до відповідних

						<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			65

витрачається багато часу, людських ресурсів, коштів. І сучасні технології дозволяють покращити якість виконуваних робіт. Споживачі, котрими являються представники агробізнесу, екологи, землевпорядники, органи місцевого самоврядування, мають змогу отримувати швидкі, точні і дешеві рішення, які б дозволяли отримувати їм геопросторові дані. Аерофотогеодезія дає на порядок дешевші рішення, ніж традиційна геодезія.

Отже, за допомогою БПЛА ми оптимізували виробничі процеси (менше людей – більше площа зйомки), підвищили швидкість вимірювань, поліпшили якість зйомки (об’ємна, мільйони точок вимірювань), автоматизували процес зйомки (навігація по маршруту), створили документацію, мінімізували вплив людського фактору.

3.4 Фотограмметрична обробка ортофотопланів

Ортофотоплан – це фотографічний план місцевості на точній геодезичній основі, отриманий шляхом аерофотозйомки чи космічної зйомки з подальшим перетворенням знімків за допомогою методів ортотрансформування [14]. Тобто, це фотографічна карта місцевості, склеєна з великої кількості знімків, що створені вертикально вниз із заданої висоти, яка дає можливість з максимальною достовірністю відтворити земну поверхню. Для отримання такого плану кожне вихідне зображення трансформується таким чином, щоб прибрати спотворення, які виникають за рахунок рельєфу та способу отримання зображення – усуваються перспективні викривлення, спричинені дисторсією об’єктива, нерегулярні спотворення через відхилення орієнтації оптичної вісі від надиру та ін. В результаті, кожне зображення зводиться до планової проекції, тобто такій, при якій кожна точка місцевості спостерігається чітко вертикально, в надир. А потім набір трансформованих зображень «зшивається» в єдину картинку – ортофотоплан.

						<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			68

масштабів знімання 1:2000-1:10000 були в межах допуску і не перевищували середньої похибки $\pm 0,15$ м.

При зйомці з БПЛА переважно використовують неметричні компактні цифрові камери. Фокусна відстань яких, зазвичай становить близько 50 мм, що відповідає розміру пікселя на місцевості від 1 до 35 см, залежно від висоти польоту.

Результатом аерознімання є знімки видимого спектру (кольорові зображення) або мультиспектральні зображення – синтез кольорових знімків та знімків ближнього інфрачервоного діапазону, якщо БПЛА був обладнаний відповідною камерою. Для отримання максимальної точності результатів – близько одного пікселя, що відповідає точності ортофотопланів масштабів від 1:500 до 1:2000 в залежності від висоти зйомки – зйомку та обробку її результатів необхідно проводити спираючись на строгу фотограмметричну обробку даних, тобто виконувати фототриангуляцію [10].

Аерознімки з БПЛА можуть бути застосовані для вирішення таких задач:

- інвентаризації земель населених пунктів і сільськогосподарських угідь;
- контролю за станом лісових масивів, сільськогосподарських посівів, стеження за якістю і своєчасністю проведення різних заходів на цих територіях;
- планування використання земель сільськогосподарського та промислового призначення;
- обстеження району складування шкідливих та отруйних речовин, доступ людини в які є обмеженим або небезпечним;
- створення великомасштабних планів сільських населених пунктів для обліку земель та встановлення меж земельних ділянок.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

дуже залежала від регламентних та технічних обмежень щодо використання літального апарату та повітряного простору. Поява безпілотників усе змінила. За допомогою БПЛА можна знімати все: великий чи малий населений пункт, будівельний майданчик, важкодоступні інженерні мережі.

Аерофотозйомка із використанням безпілотників дозволяє отримувати знімки із роздільною здатністю менше 1 см на піксель. Доцільна детальність зйомки визначається цілями проекту або площею ділянки картографування. Можливість розрізнити на знімках найдрібніші деталі, їх автоматизована обробка та аналіз дозволяють створювати інтелектуальні продукти геопросторових даних, які описують місцевість та процеси, що відбуваються на ній.

Досягнення очікуваних параметрів якості кінцевої продукції базується на професіоналізмі операторів, технічних можливостях БПЛА та камер, дотриманні технічних вимог та контролю якості кожного етапу виконання робіт. Кожен проект має починатися з дуже ретельного планування маршрутів зйомки та їх перекриття, оскільки ці параметри мають критичний вплив на точність та якість кінцевого продукту. Для досягнення необхідних параметрів точності аерофотознімання розробляється проект планово-висотної прив'язки, що гарантує необхідну надійність даних та досягнення вимог діючої інструкції та нормативних актів щодо точності готової картографічної продукції.

Результати аерофотозйомки являють собою основу для виробництва численних похідних продуктів геопросторових даних, які можуть бути використані для різних напрямків професійної діяльності: проектування, будівництва, аудиту, моніторингу, розробки земельної та містобудівної документації, аналізу ризиків техногенного та природного походження, моделювання, пошуку інвесторів тощо.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73

Гнучкість технологій на базі БПЛА дозволяє доповнити та покращити будь-який проект за рахунок швидкого та недорогого виробництва актуальних, детальних та надійних локальних даних про об'єкт.

Напрямки використання результатів ортофотознімання: ортофотоплани, цифрова модель рельєфу, цифрова модель місцевості, 3D модель, топографічний план, основа для генерального плану, зонінг, аналіз землекористування, інвентаризація або аудит земель громади, промодані для пошуку інвесторів на ділянку/об'єкт, топооснова для проектування, моделювання зон затоплення, оцінка ризиків зсуву або затоплення, ситуаційні плани, моніторинг будівництва, розрахунок обсягів земляних робіт, оцінка впливу на екологію, інтерактивні карти, картування автошляхів або залізниці, картування та оцінка ризиків для ЛЕП, проектування ВОЛЗ, оновлення та розробка планів евакуації, проекти систем безпеки, оцінка втрат (документування катастроф та результатів дії природних стихій).

Безпосередньо після приземлення, є можливість отримати попередній результат виконаної роботи. Аерофотознімки завантажуються в ноутбук з встановленим програмним забезпеченням PhotoScan, і здійснюється попередня обробка та побудова 3D моделі місцевості, ортофотоплану і цифрової моделі місцевості (рис. 3.9).

При створенні накладного монтажу кожен аерофотознімок відображається на цифровій карті. Розташування аерофотознімків на карті і їх масштаб визначаються координатами центральної точки аерофотознімків, кутом азимута і висотою, отриманими в момент фотографування за даними бортового GPS-приймача. За результатами накладного монтажу оцінюються наступні параметри:

- наявність пропусків аерофотознімків в маршруті (пропущеним вважається аерофотознімок, якщо позовжне перекриття суміжних аерофотознімків менше заданого);

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		74

перевищувати 3 ° (число аерофотознімків з кутом нахилу 3 ° допускається не більше 10% від загальної кількості аерофотознімків на знімальному ділянці);

- помилка установки цифрової камери на кут зносу (не більше 6 °) [2].

Після польових робіт приступають до камеральної обробки даних і виготовлення фотоплану.

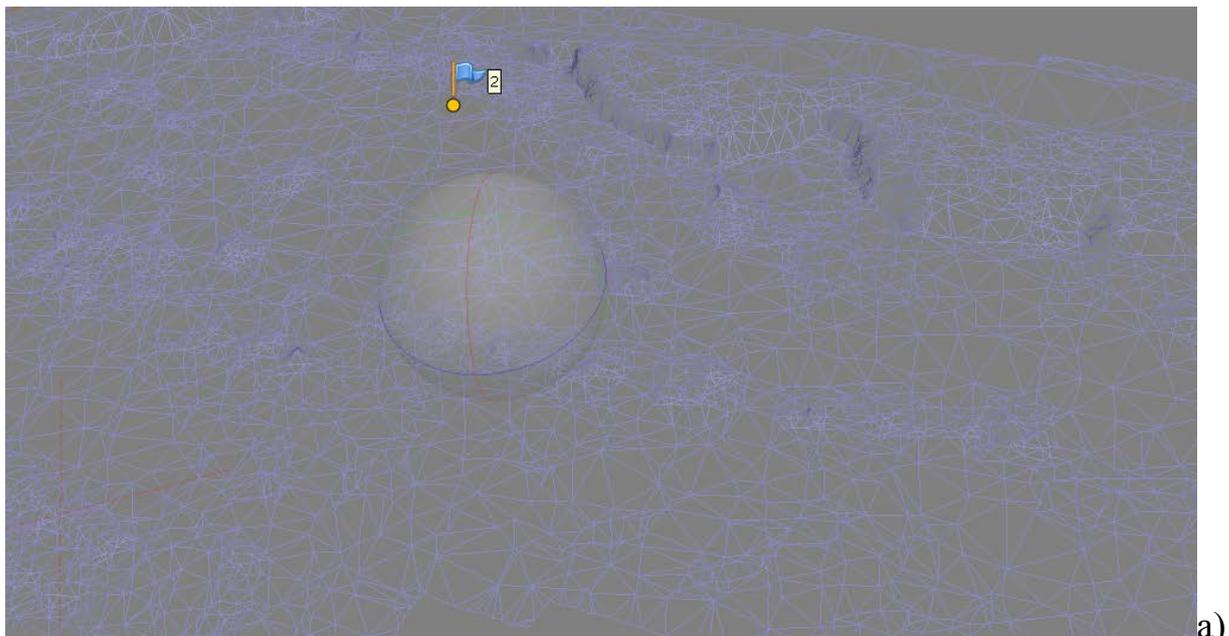
Камеральні роботи складаються з:

- 1) фотограмметричної обробки матеріалів аерофотозйомки в програмному забезпеченні Agisoft PhotoScan – отримання цифрової моделі місцевості і ортофотоплану;
- 2) картографічних робіт - створення цифрового топографічного плану за матеріалами аерофотозйомки та рельєфу у вигляді горизонталей із заданим січенням по цифровій моделі поверхні.

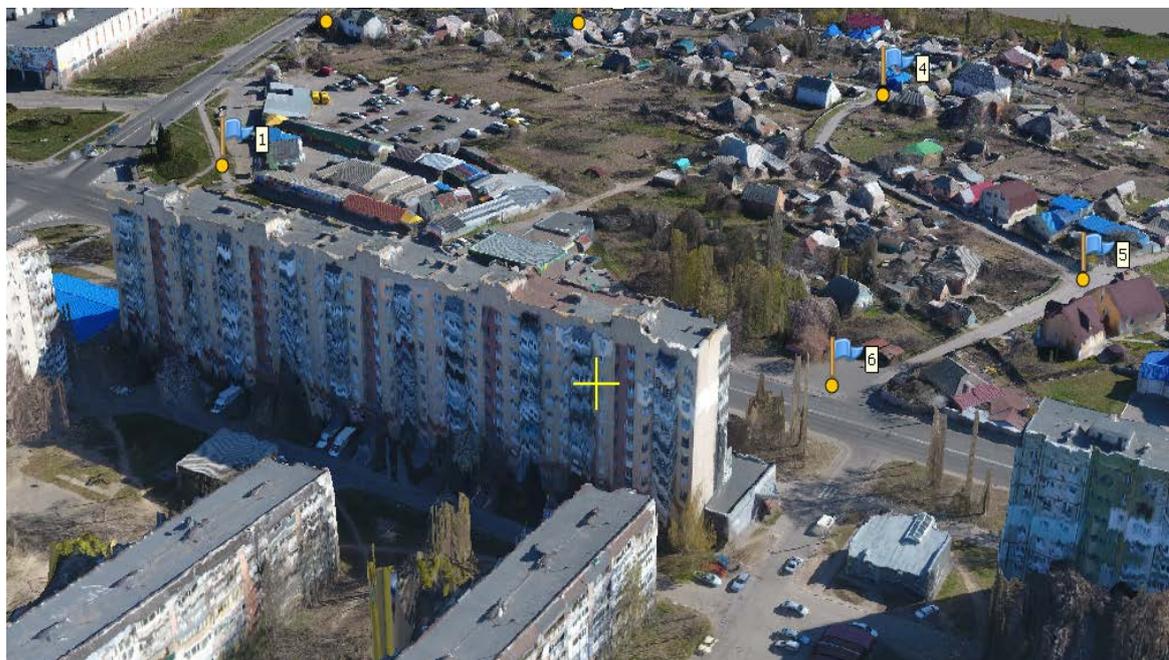
Отриманий в результаті виконання аерофотозйомки масив даних підлягає фотограмметричній обробці за допомогою автоматизованого програмного забезпечення. Вихідними матеріалами програми Agisoft PhotoScan є цифрові растрові зображення, координати центрів фотографування, матеріали калібрування оптичних систем фотоапаратів, координати опорних точок на місцевості, контрольні лінійні вимірювання на об'єкті зйомки. В результаті обробки матеріалів фотозйомки можуть бути отримані:

- тривимірні моделі місцевості в TIN і DEM форматах;
- тривимірні моделі місцевості з текстурою з вихідних фотозображень;
- тривимірні моделі місцевості у вигляді хмар точок;
- ортофотоплани заданого користувачем дозволу в призначених для користувача межах і нарізці.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		76



а)



б)

Рис. 3.10 Приклади 3D-моделей в форматах: а) TIN и б) 3D PhotoScan

Оцінка точності ортофотоплану проводиться за допомогою програмного забезпечення Photoscan. У зв'язку з відсутністю достатньої кількості контурних точок на ортофотопланах, оцінка точності носить попередній характер. В якості контрольних точок були використані

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		77

розпізнавальні знаки, які були позначені на місцевості, добре пізнавані на ортофотопланах. Координати центрів цих точок були визначені GNSS-способом з точністю близько 1-2 см. Приклади відображення розпізнавальних знаків на ортофотопланах наведені на рисунку 3.12.

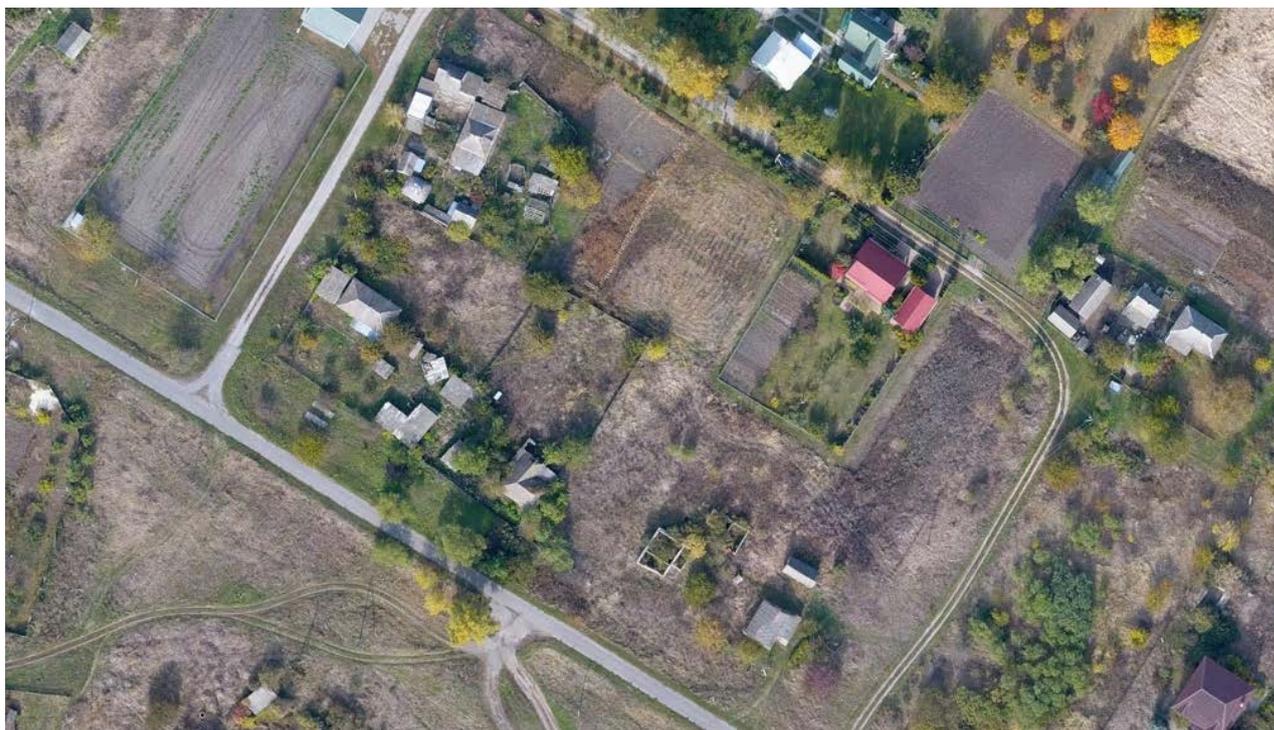


Рис. 3.11 Приклад отриманого ортофотоплану с. Книшівка

Для оцінки точності використовувалися різниці між виміряними на ортофотопланах та геодезичними координатами контрольних точок на ортофотоплані, які вважалися в даному випадку безпомилковими, тобто різниці координат розглядалися при оцінці точності як справжні помилки. Основними показниками точності служили наступні статистичні характеристики вибірок:

- середнє арифметичне, які характеризують систематичну помилку знімка (зрушення по осях координат) - середні квадратичні помилки RMSE

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

(Root Mean Square Error) по осях координат $RMSEX$, $RMSEY$ і в плані $RMSEXY$;



Рис. 3.12 Приклад відображення розпізнавального знаку на місцевості та фотоплані

- середня радіальна помилка MRE (Mean Radial Error), яка традиційно у вітчизняній геодезичній практиці служить мірою точності положення точки на площині;

- ймовірна кругова помилка $CE90$ (C. Error) – максимальна радіальна помилка ΔR_{max} . Результати оцінки точності ортофотоплану наведені в таблиці 3.4.

ортофотопланами, здійснювати запити до реєстрів, перераховувати координати. В сукупності з можливостями побудови цифрових моделей рельєфу та автоматизованого викреслювання горизонталей на їх основі, зовсім не дивно чому Digitala стала основним робочим інструментом багатьох професіоналів, чия робота пов'язана з викреслюванням топографічних планів та землеустроєм загалом. На відміну від більшості землевпорядних пакетів і ГІС, всі карти в Digitala є тривимірними. Будь-яка карта може бути представлена в 3D, дозволяючи розглянути її з різних кутів зору. Функціональні можливості програмного продукту Digitala задовольняють досить широке коло завдань, але пов'язаних лише із опрацюванням аерофотознімків, землеустроєм, топографією та не поширюються на автоматизоване проектування автомобільних доріг [9].

У даному програмному забезпеченні при роботі з будь-якою векторною картою використовується класифікатор. Класифікатор топографічної інформації призначений для використання в автоматизованих системах обробки топографічної інформації і служить для формалізованого представлення даних про елементи і об'єкти місцевості, які відображаються на топографічних картах масштабів 1:1000-1:1000000. За змістом Класифікатор являє собою систематизоване зведення кодових позначень елементів і об'єктів місцевості, а також ознак, які характеризують ці об'єкти при відображенні відомостей про місцевість на топографічних картах.

Топографічна інформація, яка включена до Класифікатора, розділена на дві пов'язані між собою частини: інформація безпосередньо про елементи, об'єкти місцевості, яка вміщує відомості про основні ознаки і постійні властивості, однозначно визначає об'єкт у загальній системі класифікації; інформація про змінні властивості, які характеризують об'єкт і його відношення до інших об'єктів.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		83

об'єктів і вибраних ознак класифікації. На нижчому ступені класифікації кожного елемента змісту знаходиться сукупність однотипних елементарних об'єктів карти, які є мінімальною величиною /одиницею/ даних про місцевість, що трансформуються в процесі обробки картографічної інформації. Кожний елементарний об'єкт карти вміщує заздалегідь визначений набір характерних ознак (кількісних і якісних), які не використовувалися як ознака класифікації. Кількість цих ознак і їх смислове значення різні і залежить від типу об'єкта [9].

Після оцифрування меж населеного пункту з публічної кадастрової карти, завантажуюмо точки планово-висотного обґрунтування у форматі *DAT (рисунок 3.14).



Рис. 3.14 Планово-висотне обґрунтування з контуром населеного пункту



Рис. 3.15. Робоча панель GED

Викликавши вікно “Про програму” можна оновлювати програму по Інтернет, переглядати дані про підключені компоненти і замовляти відновлення і додавання нових компонентів.

У свою чергу розділи горизонтального меню при звертанні до них розчиняються на підрозділи з вертикальним меню, команди якого розкриваються при звертанні до них курсором, або натиском правої клавіші "миші". Горизонтальне та вертикальне меню буде активним при роботі з відкритим файлом або відкриттям нового файлу. Зміст інших розділів та підрозділів з вертикального меню послідовно розкритий нижче.

Оцифрування елементів змісту топографічної карти виконується у відповідності з правилами цифрового опису картографічної інформації в такій послідовності:

- Планово-висотна основа;
- Гідрографія та гідротехнічні споруди;
- Рельєф;
- Населені пункти;
- Промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти;
- Дорожня мережа;
- Рослинний покрив та ґрунти;
- Границі та межі

На інструментальній панелі збору і редагування натиснути кнопку «Збір». Далі обрати «шар - найменування об'єкта - умовний знак». Для цього курсор навести на вікно, розташоване під написом «Активний шар» і натиснути ЛКМ. З'явиться кодова таблиця (класифікатор) з назвами умовних

Щоб здійснити переміщення точки, що знаходиться на стику двох і більше контурів потрібно натиснути на «Меню збору» натиснути кнопку зі скріпками. При переміщенні точки синхронно з нею будуть переміщатися точки суміжних контурів. Для копіювання контуру об'єкта необхідно виділити контур. Натиснути в Меню збору кнопку Показ центрів. Далі можна діяти одним з двох способів:

1. Підвести стрілку до центру контуру. Утримуючи клавішу Ctrl в натиснутому стані, натиснути ЛКМ і перемістити контур на інший такий же об'єкт.

2. Підвести стрілку до центру контуру і натиснути ПКМ ⇒ Копіювати. Вивести стрілку за межі контуру і натиснути ПКМ ⇒ Вставити. навести знову стрілку на центр виділеного контуру, натиснути ЛКМ і, утримуючи її натиснутою, перемістити скопійований контур на інший такий же об'єкт.

Щоб повернути контур на заданий кут, потрібно виділити контур і натиснути Меню збору ⇒ Сервіс ⇒ Розворот. В таблиці, що з'явилася, вказати кут повороту. Якщо потрібно повернути контур проти годинникової стрілки, то кут вказують зі знаком мінус.

Вставка точки в лінію. Натиснути і утримувати клавішу Ctrl. Підвести стрілку до точки, поруч з якою потрібно поставити нову точку. Після утворення «павука» натиснути ЛКМ і копію точки перемістити в потрібну позицію. Відпустити спочатку ЛКМ, а потім клавішу Ctrl. Ця операція може бути використана при укладанні горизонталей. Вставка нової лінії в існуючу лінію з її розривом – нову лінію прокреслити, пристиковуючи її початок і кінець в потрібних місцях до існуючої. Виділити існуючу лінію. На Інструментальній панелі збору і редагування натиснути кнопку «Вставити». На існуючій лінії відбудеться розрив між точками припасування нової лінії.

орієнтування напису і натиснути кнопку «Створити». На контурі об'єкта з'явиться в виділеному вигляді напис в рамці, в кутах якого стоять точки.

5. Якщо необхідно змінити положення, орієнтування або розмір підпису, то поки він знаходиться в виділеному вигляді вживають такі дії. Для зміни положення підпису навести марку-стрілку на його центр і, натиснувши ЛКМ, перемістити напис в потрібне положення. Для зміни орієнтування підпису підвести стрілку до великої точки в куті рамки. Стрілка перетвориться в дві дугоподібні стрілки. натиснути ЛКМ, і, утримуючи її, повернути напис до потрібного положення. Для зміни розміру підпису підвести марку-стрілку до однієї з кутових точок рамки. Стрілка перетвориться в двосторонню діагональну стрілку. Натиснувши і утримуючи ЛКМ, перемістити стрілку в необхідному напрямку. При цьому будуть змінюватися не тільки довжина підпису, а й розмір шрифту. Для написів, розмір яких був змінений на карті шляхом стиснення (розтягування), наступні зміни розміру шрифту, встановленого у Менеджері параметрів, не будуть впливати.

ЦМР відкривається для тривимірної візуалізації карти місцевості використовується в якості проміжного технологічного етапу при побудові горизонталей. Маючи в розпорядженні карту, що моделює рельєф, можна побачити розвиток негативних процесів, що відбувається у ґрунтах населеного пункту. При відображенні карти у тривимірному вигляді доступна функція накладення растра (текстури) на сітку ЦМР. У тривимірному вигляді можна створювати і відображати такі об'єкти карти, як будівлі, дороги, ЛЕП та інші контури.

Який спосіб вибрати для побудови горизонталей – регулярну мережу або тріангуляцію, залежить від наявних вихідних даних, масштабу карти, а також досвіду та особистих уподобань оператора [9].

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		95

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра було розкрито технологію створення просторової основи топографічних планів за матеріалами аерофотозйомки з використанням БПЛА. Також проведено комплекс вишукувальних робіт та удосконалення технологій аерофотозйомки за допомогою сучасного обладнання.

На основі отриманих даних з БПЛА, такі результати аерофотозйомки можуть бути використані для складання топографічних планів, генеральних планів міст чи сіл, здійснення маркшейдерського обліку, а також для дуже багатьох галузей. Досвід використання геодезичних БПЛА в різних галузях невпинно зростає. Пристрої БПЛА показують значимі плюси і мінімізують недоліки в порівнянні з класичною польовою геодезією. Сучасна техніка робить акцент на побудові топопланів, рельєфу, в тому числі у віддалених та важкодоступних місцях, створення вимірюваних 3D-моделей з реальною текстурою. Традиційні методи, на жаль, не дозволяють отримувати дані такого типу, та ще й за невеликий проміжок часу, тому ця технологія є дуже доцільною та значно поширює коло можливостей для спеціалістів.

Книшівка – село в Кременчуцькому районі Полтавської області. Населення – 105 осіб, площа – 0,88 км². Орган місцевого самоврядування – Новогалещинська селищна об'єднана територіальна громада. Село Книшівка знаходиться на лівому березі річки Псел, вище за течією на відстані 4 км розташоване село Піски, нижче за течією на відстані 2,5 км розташоване село Йосипівка, на протилежному березі — село Ламане. Річка в цьому місці звивиста, утворює лимани, стариці та заболочені озера.

Для геодезичної зйомки в межах міста та невеликих населених пунктів доцільно використовувати мультикоптери. Кращим в співвідношенні ціна-якість для геодезичної зйомки в межах міста на мій погляд виступає квадрокоптер DJI Mavic Pro та DJI Phantom 4.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		97

У відповідності з вимогами галузевих інструкцій, наприклад, для отримання топопланів масштабу 1:2000 необхідна фотооснова, що має роздільну здатність 15 см/пікс і має похибку визначення координат у кожній точці не вище 60 см. Такий дозвіл легко забезпечується при зйомці БПЛА DJI Phantom 4. З висоти близько 200-300 м дає знімки, які мають дозвіл 5 см/пікс.

Перед виконанням аерофотознімальних робіт проводилася планово-висотна підготовка аерознімків. Роботи з планово-висотної підготовки включали вибір контурів, які використовуються в якості розпізнавальних знаків, і геодезичні роботи з визначення координат і висот цих розпізнавальних знаків.

Як пункти планового і висотного обґрунтування, в першу чергу використовувалися пункти державної геодезичної мережі та мережі згущення, визначення і зрівняння.

Для визначення координат пунктів знімальної мережі та розпізнавальних знаків використовувався GNSS-приймач South s660p. Вся опорна інформація представлялася в проекції UTM на еліпсоїді WGS-84.

Прив'язка знімків до точок з відомими координатами проводиться вручну за допомогою програмного забезпечення. У програмному забезпеченні Pix4DCapture проводиться генерація цілісного ортофотоплану з 831 окремих знімків та 3D-моделі ділянки місцевості. На виході отримано ортофотоплан – система координат СК63, роздільна здатність 5000x5000 пікселів, точність 3,45 см на піксель та 3D-моделі ділянки місцевості.

Число помилок, що перевищують потроєного значення СКП, не перевищує 1%.

Відповідно до інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500, середні помилки знімання рельєфу відносно найближчих точок геодезичної основи не перевищують за висотою 1/4 прийнятої висоти перерізу рельєфу при кутах нахилу до 2°. Для висоти перетину рельєфу 0.5 м це становитиме 0.125 м, а для висоти перерізу 1м -

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		98

0.25 м. Отримане значення середньої помилки склало 0.144 м. Таким чином, цифрова модель рельєфу може бути використана для побудови горизонталей з висотою перетину 1 м.

Загальна середньоквадратична помилка задовольняє вимоги, щодо застосування ортофотопланів для виготовлення топографічної зйомки в масштабі 1:2000.

Проведено повний цикл робіт по створенню топографічної зйомки за матеріалами аерознімання за допомогою БПЛА. За допомогою правильно підбраного програмного забезпечення було оптимізовано процес знімання, що дозволило зекономити час на виконання та грошові затрати на даний об'єкт.

Розглянувши способами топографічного знімання за допомогою БПЛА було виконано оптимізацію виробничих процесів, а саме: підвищення швидкості вимірювань, поліпшення якості зйомки (об'ємна, мільйони точок вимірювань), автоматизування процесу зйомки (навігація по маршруту), створення документації, мінімізування впливу людського фактору.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		99

42. Ільницька Н. Про поняття, структуру та особливості правового режиму земель сільськогосподарського призначення / Н. Ільницька // Вісник Львівського університету. Серія юридична. – 2000. – Вип. 35. – С. 350-355. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://pgr-journal.kiev.ua/archive/2016/08/17.pdf>– Загол. з екрана.

43.

					<i>КРМ 2 мБЗ 10589155</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		106