

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА**  
**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

д-р. техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ В. Ю. Ларін

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

**ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ**

**«БЕСПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

**Тема: Алгоритми виконання тепло- та енергоаудиту за допомогою  
безпілотного повітряного судна**

**Виконав:**

\_\_\_\_\_ **В.В. Коробко**

**Керівник: д-р техн. наук, проф.**

\_\_\_\_\_ **В.Ю. Ларін**

**Нормоконтролер**

\_\_\_\_\_ **Т.Ф. Шмельова**

**Київ, 2020**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Аеронавігації, Електроніки та Телекомунікацій

Кафедра Аеронавігаційних Систем

Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ларін В.Ю.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання дипломної роботи

Коробко Володимир Віталійович

1. Тема дипломної роботи «Алгоритми виконання тепло- та енергоаудиту за допомогою безпілотного повітряного судна» затверджена наказом ректора від 24 жовтня 2019 р. № 2476/ст.
2. Термін виконання роботи: з 24.10.2019 по 27.01.2020.
3. Вихідні дані до роботи: дані організацій: УКРЕРОРУХ, УКРЕНЕРГО.
4. Зміст пояснювальної записки: Алгоритми виконання тепло- та енергоаудиту за допомогою безпілотного повітряного судна. Визначення аварії, координат і площі з БПЛА з корисним навантаження тепловізором.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: схеми, результатів даних, таблиці, формули.

## 6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підготовка та написання розділу 1 «Енерго- і електроаудит. Розвиток БПЛА»	24.11.19- 26.11.19	Виконав
2	Підготовка та написання розділу 2 «Проведення електро- і енергоаудиту з тепловізора на БПЛА»	26.11.19- 28.11.19	Виконав
3	Підготовка та написання розділу 3 «Склад БАС та дотримання правил і умов безпеки при використанні БПЛА»	28.11.19- 11.12.19	Виконав
4	Підготовка та написання розділу 4 «Алгоритми виконання енерго- і електроаудиту за допомогою БПЛА»	11.12.19- 29.12.19	Виконав
5	Підготовка та написання розділу 5 «Підготовка презентації та доповіді»	15.01.20- 27.01.20	Виконав

7. Дата видачі завдання: « 24 » жовтня 2019 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Ларін Віталій Юрійович

(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Коробко Володимир Віталійович

(підпис студента) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Алгоритми виконання тепло- та енергоаудиту за допомогою безпілотного повітряного судна»: 100 сторінки, 6 таблиць, 47 рисунка, 19 використаних джерела, 1 додаток.

Об'єкт дослідження – алгоритми використання БПЛА з тепловізором

Предмет дослідження – використання БПЛА в енерго- і електроаудиті

Мета дослідження: розробити алгоритми використання БПЛА в енерго- і електроаудиті.

Розглядались правила польоту і використання БПЛА. Створено алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації аварії тепломагістралі або лінії електропередач на базі БПЛА і алгоритм визначення площі аварії тепломагістралі. Розроблено метод визначення координат місця аварії. Розраховано, з економічного погляду, використання безпілотного літального апарату.

БПЛА, ЛЕП, MISSIONPLANNER, ДРОН, UAV, ТЕПЛОВІЗОР, БАС, БПС, ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, АЕРОЗЙОМКА.

**АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
Перелік умовних позначень, скорочень, термінів .....	11
Розділ 1.Енерго- і електроаудит. Розвиток БПЛА .....	12
1.1 Енергетичний аудит .....	12
1.2 Повітряні лінії електропередач.....	13
1.3 Дрони .....	14
1.4 Класифікація БПС по параметрам.....	15
1.5 Розвиток БПС.....	20
1.6 Области застосування безпілотників .....	22
1.7 Склад безпілотного авіаційного комплексу (БАК).....	29
Висновки до розділу 1 .....	30
Розділ 2.Проведення електро- і енергоаудиту з тепловізора на БПЛА .....	31
2.1 Обстеження тепломагістралей і ЛЕП.....	31
2.2 Фотографічна аерозйомка та її види .....	32
2.3 Особливості аерозйомки в невидимому спектрі електромагнітних хвиль .	38
2.4 Моніторинг ЛЕП за допомогою БПЛА.....	40
2.5 Оцінка і аналіз зйомок .....	43
2.6 Енергоаудит за допомогою БПЛА.....	44
2.7 Принцип дії тепловізора .....	47
2.8 Технічні характеристики тепловізора .....	50
Висновки до розділу 2 .....	51
Розділ 3. Склад БАС та дотримання правил і умов безпеки при використанні БПЛА .....	52
3.1 Типи БПЛА для електро- і енергоаудиту .....	52
3.2 Структура БПЛА .....	55
3.3 Наземна станція управління.....	61
3.4 Висоти.....	61
3.5 Мапи і заборонені зони.....	62

3.6 Інфографіка щодо дозвільного порядку використання повітряного простору .....	64
3.7 Порядок отримання дозволу на використання повітряного простору .....	65
3.8 Загальні рекомендації по експлуатації безпілотних повітряних суден....	66
Висновки до розділу 3 .....	68
Розділ 4.Алгоритми виконання енерго- і електроаудиту за допомогою БПЛА	69
4.1 Перевірка будівель на витік тепла.....	69
4.2 Перевірка тепломагістралей.....	70
4.3 Перевірка ліній електропередач .....	71
4.4 Перевірка трансформаторів.....	76
4.5 План маршруту .....	77
4.6 Алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації аварії тепломагістралі або лінії електропередач на базі БПЛА .....	78
4.7 Розробка методу визначення координат місця аварії.....	79
4.8 Алгоритм визначення координат місця аварії .....	83
4.9 Алгоритм визначення площі аварії тепломагістралі .....	84
4.10 Економічний розрахунок.....	87
Висновки до розділу 4 .....	94
Висновки до дипломної роботи.....	96
Список використаних джерел.....	98
Додаток 1 .....	100



## ВСТУП

На сьогоднішній день розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) набувають все більшого поширення: ще недавно колишній інструментом військових, сьогодні купити безпілотник з камерою може будь-яка цивільна підприємство. Переваги аерофотозйомки перед традиційними методами очевидні: застосування безпілотних апаратів збільшує рентабельність за рахунок спрощення проведення робіт, оперативності отримання знімків високого дозволу, можливості отримання знімків в важкодоступних місцях. Використання БПЛА для аерофотозйомки значно підвищує продуктивність, скорочуються витрати часу на польові роботи. Також з'являється можливість "безконтактної" зйомки об'єктів, що особливо важливо на об'єктах з підвищеною небезпекою. Таким чином, безпілотник значно спрощує проведення робіт, зменшуючи витрати часу і коштів, підвищує загальну ефективність. [1]

Сфера застосування даних аерофотознімання з БПЛА[1]:

- Енергетичний і нафтогазовий комплекс для моніторингу об'єктів інфраструктури.
- Сільське, лісове та водне господарство для оцінки стану полів, насаджень, водойм і ефективного управління виробництвом.
- Транспортно-дорожній комплекс для отримання оперативних і аналітичних даних про стан автомобільних доріг і залізничних ліній.
- Геодезія, картографія та топографія для отримання точних відомостей про рельєф місцевості і складання карт.
- У моніторингу надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків.

Аерофотозйомка з БПЛА підрозділяється на зйомку з безпілотників літакового типу і Мультикоптер (квадрокоптера, гексакоптеров, октокоптеров).[2]

Зйомка з безпілотних літаків ідеально підходить для моніторингу невеликих площ з метою отримання ортофотопланів місцевості та вирішення інших завдань. [2]

Зйомка з мультикоптер оптимальна для моніторингу великих площ (літаки і супутники для цих цілей поки залишаються поза конкуренцією). Для підготовки до польотів мультикоптер потрібно не більше 10-20 хвилин, не потрібно майданчик для запуску і посадки, знімальна команда складається всього з двох чоловік - пілота і оператора, а вартість робіт, в залежності від обсягів і завдань, може починатися від декількох тисяч рублів. [2]

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

БПЛА – безпілотний літальний апарат  
ЛЕП – лінії електропередач  
БПС – безпілотне повітряне судно  
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання  
ДПЛА – дистанційно-пілотований літальний апарат  
UAV – unmanned aerial vehicle  
UAS – unmanned aircraft systems  
ТРД – турбо-реактивний двигун  
ПЗ – програмне забезпечення  
БАК – безпілотний авіаційний комплекс  
ПС – повітряне судно  
АФА – аерофотоапарат  
ІЧ – інфрачервоний  
ЦММ – цифрова модель місцевості  
СУ – система управління  
АКБ – акумуляторна батарея  
ЕД – електро двигун  
ПЛ – повітряні лінії  
МР – MissionPlanner  
ОПР – обслуговування повітряного руху  
ПП – план польоту  
ЛА – літальний апарат  
МБАК – мобільний безпілотний авіаційний комплекс  
ПММ – пально-мастильні матеріали  
ТТД – тактично технічні дані  
ТО – технічне обслуговування  
ІНС – інерціальна система

## Розділ 1. ЕНЕРГО- І ЕЛЕКТРОАУДИТ. РОЗВИТОК БПЛА

### 1.1 Енергетичний аудит

Енергетичний аудит - це перевірка, дослідження й аналіз потоків енергії, задля збереження її у будівлі, процесі або системі та зменшення кількості енергії, що надходить до системи, без негативного впливу на її витік. Для комерційної та промислової нерухомості, енергетичний аудит є першим кроком щодо визначення можливостей скорочення видатків на енергію та зменшення викидів вуглецю. [3]. Приклад тепловізійної картини будівлі наведено на рис.1.1



Рисунок 1.1 – порівняння тепловізійного і звичного зображення

Коли об'єктом дослідження є зайнята споруда, тоді зниження споживання енергії, за збереження або поліпшення затишку, умов перебування людини, її здоров'я та безпеки, є першочерговим завданням. Окрім простого визначення першопричин витрат енергії, енергетичний аудит спрямовано на виявлення пріоритетності застосування енергії відповідно до найбільш економічно вигідних можливостей, щодо заощадження енергії. [3]

Зробити адекватну оцінку проведеної роботи з утеплення будинку відповідно до сучасної технології можна по ряду ознак. Найчастіше це

свідчення термометра і кількість спаленого палива або витраченої електроенергії. Однак якщо утеплення виявилось неефективним, відшукати причини без спец приладів складно. З цією метою проводиться перевірка будинку тепловізором. [3]

## 1.2 Повітряні лінії електропередач

Повітряні лінії електропередачі - це спеціально спроектовані і побудовані пристрої для передачі електроенергії по проводах. Вони складаються з опор, електропроводів і ізоляторів. І кожна з цих складових частин має свої параметри, які можуть з часом і під впливом зовнішніх чинників змінюватися. [4]

Моніторинг, який представляє собою безперервний процес спостереження за станом траси шляхом реєстрації інформації, що надходить і відстеження змін, дозволяє помітити небажаний розвиток ситуації на ЛЕП, своєчасно втрутитися і усунути причини, що можуть призвести до аварії. Моніторинг передбачає порівнювання нової інформації, що надійшла про параметри лінії електропередачі з попередніми даними або з заданими критеріями. Завдяки йому можна помітити виникнення небажаного процесу, простежити його розвиток і зробити припущення про подальший розвиток подій. Таким чином, моніторинг ліній електропередач являє собою зручний механізм обслуговування ЛЕП. [4]



Рисунок 1.2 Анкерна опора ЛЕП

### 1.3 Дрони

Невеликі БПЛА прийнято називати дронами. Роботою дрона дистанційно управляє оператор із землі. Дрони здебільше призначені для виконання розвідувальної чи моніторингової функції. Вони здатні рухатися у небезпечних для людини умовах. Досить довгий час можуть обходитися без зовнішньої підтримки (наприклад, завдяки заряджанню акумуляторів електродвигуна від сонця). Обслуговувати безпілотники значно дешевше, ніж традиційні літаки й гелікоптери. Головними перевагами таких апаратів є відсутність екіпажу, менша ціна і велика функціональність. Тому їх самоцінність за відсутності людини-пілота наближується до нуля.

Перспективна сфера їх можливого використання виглядає необмеженою. Зокрема, сучасні дрони уміють шпигувати, коригувати вогонь військових, передавати необхідну фотоінформацію, відеоінформацію, теплоінформацію, доставляти ліки, охороняти райони, атакувати й знищувати наземні цілі і т.д.

[3]



Рисунок 1.3 Експериментальне двомоторне безпілотне повітряне судно М-7Д  
«Небесний патруль»

## 1.4 Класифікація БПС по параметрам

Як класифікаційні параметри, для БПС в світі з 2005 року прийнято наступне:

- стартова маса, кг;
- радіус дії, км;
- висота польоту, км;
- час польоту, год.

На сьогодні класифікація БПС представлена в наступному вигляді [5]:

Таблиця 1.1

Код англ. л.	Назва (англ.) )	Назва(укр.)	Маса, кг	Радіусдії, км	Висотапо льоту (м)	Час польоту (год)
<b>ТАКТИЧНІ</b>						
mic ro	micro	Мікро	≤5	≤10	250	1
mini	mini	Міні	≤20/25 /30/15 0	≤10	150/250/300	≤2
CR	CR	Близькоїдаль ності	25-150	10-30	3000	2-4
SR		Короткоїдаль ності	50-250	30-70	3000	3-6
MR		Середньоїдал ьності	150-500	70-200	5000	6-10

MR E		Середньодал ьності і великоїприва лості	500-150	$\geq 500$	8000	10-18
LA DP		Низьковисот ний	250- 2500	$\geq 250$	50-9000	0,5-1
LA LE		Низьковисот ний з довгою тривалістю польоту	15-25	$\geq 500$	3000	$\geq 24$
MA LE		Середньоївис отний з малою тривалістюпо льоту	1000- 1500	$\geq 500$	5000-8000	24-28
<b>СТРАТЕГІЧНІ</b>						
HA LE		Висотний з великою тривалістюпо льоту	2500- 5000	$\geq 2000$	20000	24-48
Strat o	S trato.....	Стратосферні	$\geq 2500$	$\geq 2000$	$\geq 20000$	$\geq 48$
EX O	EXO - S trato.....	Поза стратосферні	-	-	$\geq 30500$	-
<b>СПЕЦІАЛЬНІ</b>						



UC AV		Бойові БПС	$\geq 1000$	+/- 1500	12000	2
LET	Lethal	Одноразові БПС	-	300	4000	3-4
DE C	Decoys	БПС - мішені	150-500	0- 500	50-5000	$\leq 4$

Крім того БПС можна класифікувати за наступними ознаками [5]:

- за способом створення підйомної сили:

- літаки;
- вертольоти;
- конвертоплани і т.д.

- за способом управління польотом:

- безпілотні некеровані;
- безпілотні автоматичні;
- безпілотні дистанційно-пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

- за типом силової установки: ДВЗ; електро; інші;

- за способом транспортування: легкі для транспортування людиною; важкі для транспортування транспортними засобами.

Приклади БПС різних класів та аеродинамічних схем показані на рис. 1.4, 1.5, 1.6 та 1.7.



Рис.1.4 БПС «Seeker 1» компанії Denel Aerosystems



Рис.1.5. Мікро вертоліт співвісної схеми  
Розробки компаній «Epson» та „Soni”



Рис.1.6 БПС вертолітного типу RPH2  
компанії „Fuji” (Японія)



Рис.1.7 БПС – конвертоплан „EagleEye”  
компанії „Bell” (США)

У авіації після 2000 року йде стрімке розширення саме безпілотних дистанційно-пілотованих літальних апаратів (ДПЛА), й про них йдеться, коли вживають термін «безпілотник», «дрон», або абревіатуру UAV. Тобто, під терміном «безпілотник», «БПЛА», «UAV» мається на увазі саме повітряне судно, яким через канали зв'язку керує один або декілька пілотів. Екіпаж БПЛА може також включати командира, оператора сенсорів, оператора вогневих засобів. Екіпажі БПЛА під час довготермінових місій змінюються — як на загал, кожні 4 години.[6]

Безпілотні літальні апарати, відповідно до стандартів НАТО, так само, як і літаки із пілотом на борту, керуючись значенням повної злітної маси розділено на 3 класи [6]:

**I** — повна злітна маса до 150 кг

**II** — повна злітна маса до 600 кг

**III** — повна злітна маса більше 600 кг.

Клас I підрозділяється на категорії: «мікро» — до 2 кг, «міні» — до 15 кг, «малі» — від 15 кг.

Від наведеної вище класифікації НАТО дещо відрізняється класифікація безпілотних авіаційних систем (UAS), що її застосовано у документі Департаменту оборони США. Згідно цього документу, виділяють п'ять груп UAS [6]:

- Група 1 (мікро-, міні тактичні) — від 0 до 9 кг, до 300 метрів над ґрунтом
- Група 2 (малі тактичні) — від 9.5 до 25 кг; до 1000 метрів над ґрунтом
- Група 3 (тактичні) — менш, ніж 600 кг
- Група 4 (персистентні) — більш, ніж 600 кг
- Група 5 (пенетрувальні) — більш, ніж 600 кг

## 1.5 Розвиток БПС

Аналіз розвитку існуючих у світі БПС виявляє стійку тенденцію до збільшення їхніх розмірів і маси, а також висоти й тривалості польоту. БПС з великою масою можуть довше знаходитися в повітрі, вище підніматися й далі "бачити". Дуже великим є попит на БПС класу "максі". Вони можуть змінити розстановку сил на світовому ринку літальних апаратів. Найбільше відомий з них "ГлобалХоук" (мал.5.) піднімається на висоту до 20 км, важить 11,5 тон й має тривалість крейсерського польоту більше 24 годин. Він оснащений ТРД. [5]



Рис 1.8. БПС «Глобал Хоук» (Нортроп Грумман, США)

Відносно недавно була розроблена концепція «літаючої платформи», відповідно до якої почали будувати БПС, що забезпечують найкращі умови для розміщення в них корисного навантаження. З'єднавши корисне навантаження з бортовими системами, можна одержати повноцінний інтегрований комплекс, максимально оснащений радіоелектронним устаткуванням (рис.1.9.). Це буде якісно новий вид авіаційної техніки - стратосферна платформа для вирішення завдань, які або не під силу мало-, середньовисотним і безпілотним машинам, або вимагають невиправдано великих затрат при їх виконанні супутниковими угрупованнями. [5]



Рис.1.9 Багатоцільовий БПС "Протеус" ( США )

У цивільній сфері БПС можуть також принести велику користь і економію. Їх можливості багато в чому залежать від висоти польоту. Сьогодні межа становить 20 км, а в перспективі й до 30 км. На такій висоті БПС може конкурувати із супутником. Відслідковуючи все, що відбувається на території площею близько мільйона квадратних кілометрів, він сам стає свого роду "аеродинамічним супутником". БПС можуть взяти на себе функції супутникового угруповання й виконувати їх у режимі реального часу в рамках цілого регіону. [5]

Відомо, щоб з космосу проводити фото- і кінозйомку або спостерігати за яким-небудь об'єктом, потрібні 24 супутника, але й тоді інформація від них буде надходити один раз за годину. Супутник перебуває над об'єктом спостереження всього 15-20 хвилин, а потім іде із зони його видимості й вертається на те ж місце, зробивши оберт навколо Землі. Об'єкт же за цей час іде із заданої точки, оскільки Земля обертається, і знову опиняється в ній тільки через 24 години. [5]

На відміну від супутника, БПС супроводжує точку спостереження постійно. Виконавши завдання на висоті близько 20 км впродовж 24 годин, він повертається на базу, а йому на зміну в небо йде інший. Ще один БПС знаходиться в резерві. Це і є основна складова економії, оскільки БПС на порядок дешевше супутників. Також БПС можуть конкурувати із супутниками й у сфері створення телекомунікаційних мереж і навігаційних систем. На БПС можна покласти безперервне цілодобове спостереження за поверхнею Землі в широкому діапазоні частот. Використовуючи їх, можна створити інформаційне поле країни, що охоплює контроль і керування рухом

повітряного й водного транспорту, оскільки БПС в стані взяти на себе функції наземних, повітряних і супутникових локаторів (спільна інформація від них дає повну картину того, що робиться в небі, на воді й на землі). [5]

Безпілотні літальні апарати допоможуть вирішити цілий спектр наукових і прикладних завдань, пов'язаних з геологією, екологією, метеорологією, зоологією, сільським господарством, з вивченням клімату, пошуком корисних копалин тощо. Вони можуть стежити за міграцією птахів, ссавців, риби, зміною метеоумов і льодової обстановки на ріках, за рухом суден, переміщенням транспорту й людей, проводити аеро-, фото- і кінозйомку, радіолокаційну й радіаційну розвідку, багато спектральний моніторинг поверхні, проникаючи всередину до 100 метрів тощо. Потреба світового ринку в БПС з великою висотою й тривалістю польоту представлена на рис.1.10. [5]

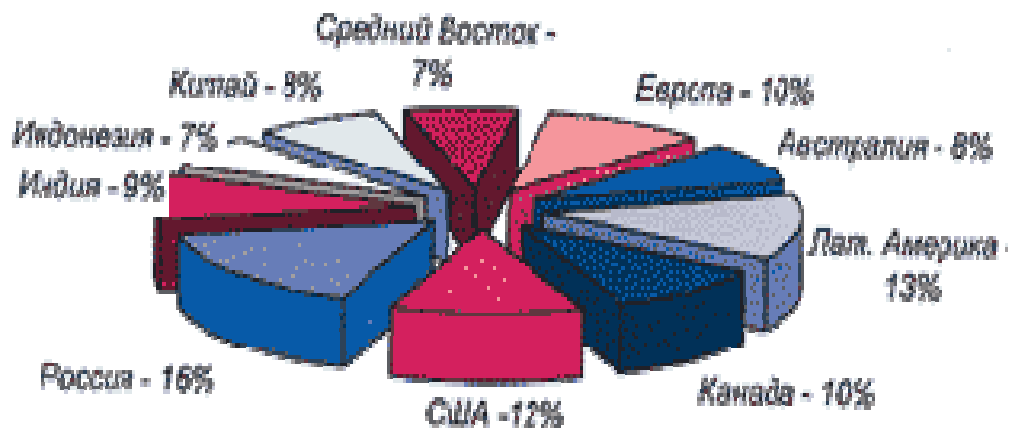


Рис.1.10 Потреба світового ринку в БПС з великою висотою й тривалістю польоту

## 1.6 Области застосування безпілотників

За даними аналітиків VI Intelligence структура користування комерційними БЛА в США на 2016.03 виглядає так [7]:

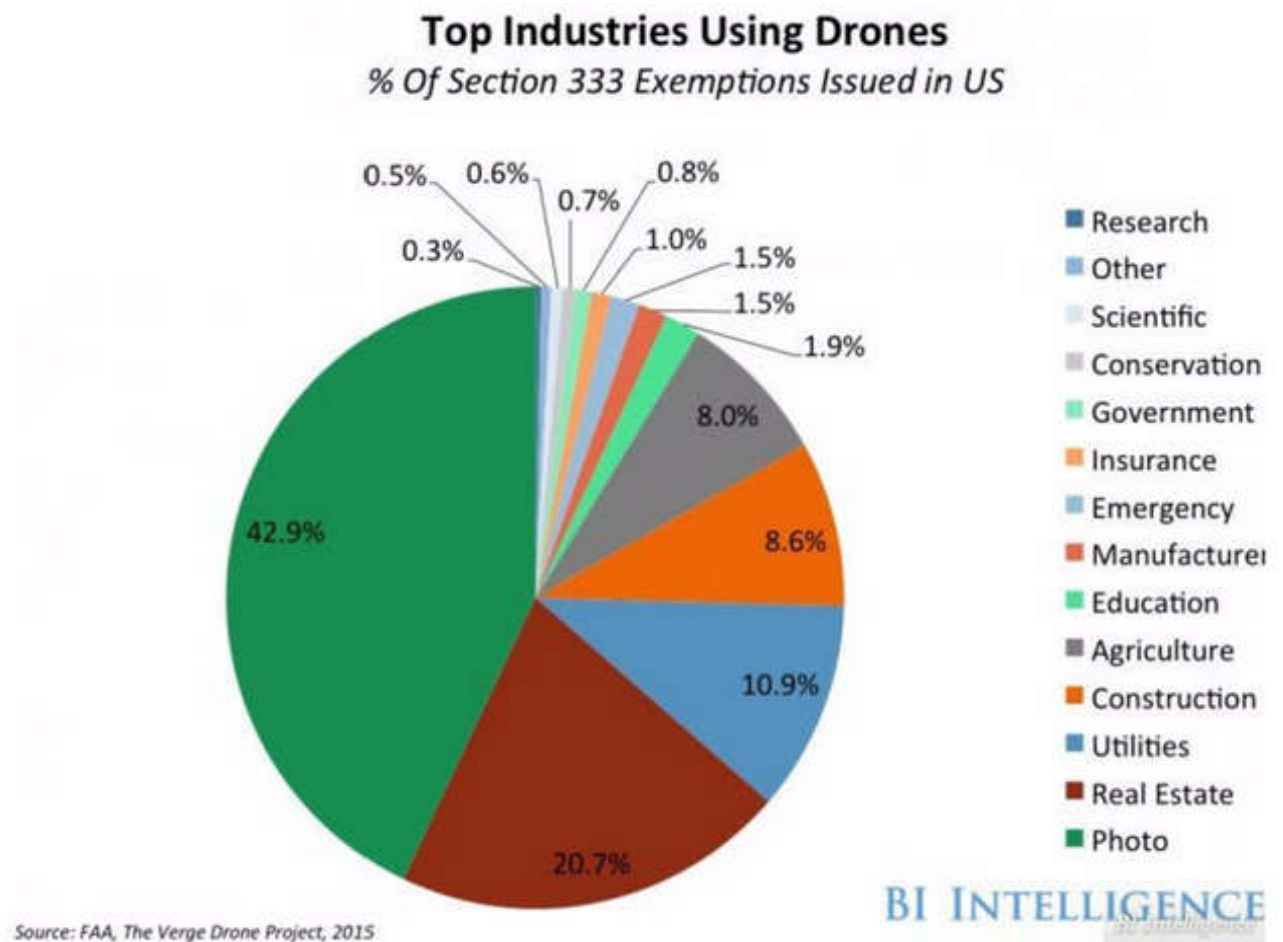


Рисунок 1.11 Користування комерційних БПЛА за даними Business Insider

Зараз безпілотні літальні апарати потроху витісняють літаки і вертольоти, і можуть використовуватися в таких сферах як [7]:

1) Археологія

Археологи знайшли з дрона велику платформу під пісками в районі стародавнього міста Petra в Йорданії.

2) Архітектура, містобудування і безпілотники

Система з використанням дрона і спеціального ПЗ може автономно обстежити місцевість і формувати 2D і 3D карти і моделі місцевості.

3) Аеродроми та безпілотники

Інспекції літаків (зовнішнього огляду), перевірок аеродромного обладнання.

4) Аеротаксі

У 2016 році почалися випробування першого Аеротаксі , розрахованого на перевезення одного пасажера вагою до 100 кг.

5) Аерофотозйомка

У світі практично відсутні цифрові карти з дозволом вище 1:10 000 БЛА дозволяють створювати цифрові карти практично з будь-яким дозволом, починаючи від декількох сантиметрів на точку.

6) Моніторинг безпек

Наприклад моніторинг безпеки при проведенні будівельних робіт.

7) Відео- та кінозйомка з повітря, аерозйомка

Нові технології дозволяють відмовитися від дорогих вертольотів і позбавлених мобільності знімальних кранів.

8) Відеоспостереження з повітря. Відеострімінг

Ідея такого відеоспостереження - отримання з камери, встановленої на борту безпілотного літаючого апарата, відеопотоку в режимі реального часу на екран наземного пульта управління або в мережу інтернет.

9) Вулканологія і безпілотники

За допомогою дослідних дронів, забезпечених необхідними чутливими сенсорами, вулканологи з Великобританії і Норвегії під керівництвом Джона Хауелла з Абердинського університету вперше побудували тривимірну теплову карту вулкана.

10) Геологорозвідка

Китайські безпілотники використовуються в Синьцзян-Уйгурському автономному районі для проведення геофізичних досліджень.

11) Гонки пілотованих мультикоптерів

Австралійська компанія Alauda розробляє швидкісні співвісні октокоптери і класичні квадрокоптера для швидкісних гонок пілотованих апаратів.

12) Горнодобича

Щомісячні обльоти з метою визначення обсягів за допомогою БЛА стають звичною рутиною гірничодобувних компаній.



### 13) Міське господарство і безпілотники

Приклади: пошук несанкціонованих звалищ; виявлення незаконної забудови; контроль якості дорожнього покриття; взяття проб повітря; заміри рівнів радіовипромінювання; заміри радіації; виявлення дахів, які потребують ремонту; зафарбування графіті в важкодоступних місцях.

### 14) Дефібриляторів екстрена доставка

Якщо у людини перестало битися серце, його ще можна врятувати за допомогою розряду дефібрилятора - однак доставити відповідне обладнання до пацієнта потрібно дуже швидко - за лічені хвилини! Це може зробити безпілотник.

### 15) Дорожня поліція і безпілотники

У 2019 іспанська дорожня поліція використовує БЛА для фотографування водіїв з висоти 120 метрів. Це дозволяє фіксувати випадки використання мобільного телефону за кермом і виписувати штрафи.

### 16) Доставка безпілотниками вантажів

Доставка вантажів різних габаритів без пілота в автономному варіанті по запрограмованому маршруту, доставка медикаментів і біологічних матеріалів, доставка піци, доставка пошти, доставка товарів з інтернет-магазину, транспортні системи на базі дронів.

### 17) Залізниці і безпілотники

Безпілотники дозволяють досягти економії при періодичному обстеженні залізниць і об'єктів з БПЛА.

### 18) Тваринництво і безпілотники

Одне з основних застосувань - оперативне виявлення в стаді хворих тварин за допомогою тепловізора за різницею температур хворих і здорових особин.

### 19) Картографія / кадастр і безпілотники

Отримання отофотопланов для цілей картографування, постановки на кадастр і т.п.

### 20) Контроль радіотехнічних засобів

Це дозволяє в рази скоротити витрати на перевірок, мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище і виключити вплив людського фактора при проведенні робіт.

21) Контроль температури з безпілотною

Безпілотики з тепловізором починають широко використовувати в сфері енергоаудиту.

22) Контроль токсичних речовин

У Данії почали стежити за вмістом сірки в вихлопних газах судів, що проходять через протоку Великий Бельт з борта БПЛА вертолітного типу Saab Skeldar V-200.

23) Кредитно-страхова діяльність

Порівняння заявлених та фактичних площ земель, об'єктів. Оцінка фактичних обсягів виконаних робіт. Прогноз врожайності.

24) Лісове господарство і заповідники

Боротьба з бракон'єрами; виявлення пожеж, задимлень; контроль загороджень; лісозахист; лісовпорядкування; моніторинг (облік) тварин; пошук (виявлення) та інспектування вирубок.

25) Логістика і безпілотики

«Нова пошта» вже кілька разів заявляла про бажання використовувати дрони.

26) Медицина і безпілотики

Доставка зразків крові або тканин для аналізів з клінік в лабораторії, з віддалених населених пунктів в лабораторію в райцентрі або місті

Доставка органів для трансплантації.

Доставка запасу крові для екстреного переливання туди, де це потрібно.

Доставка антидоту до місця, де знаходиться потерпілий від укусу отруйної змії.

27) Метеорологія і безпілотики

Вивчення ураганів, тайфунів та інших природних явищ в області метеорології. Посилення опадів.

- 28) Моніторинг віддалених, важкодоступних або небезпечних об'єктів з безпілота

Використання безпілота в гірській місцевості, старих будівель, печер і т.д.

- 29) Моніторинг мостів, висотних та інших споруд з безпілота

Безпілоти можуть ефективно застосовуватися для обстеження важкодоступних зовні висотних споруд.

- 30) Моніторинг протяжних об'єктів

Ліній електропередачі, газо- і нафтопроводів, залізниць.

- 31) Спостереження за ходом робіт з безпілота

Спостереження безпілотником за будівництвом, щоб завчасно виявити деякі помилки при будівництві.

Обстеження факелів, інспекція трубопроводів, моніторинг проведення будівництва, демонтажу, ремонтних робіт. Пошук витоків.

- 32) Запилення рослин безпілотниками

Кілька команд в світі вивчають механізми запилення рослин бджолами і намагаються відтворити запилення за допомогою міні-і мікро-безпілотників.

- 33) Орнітологія і безпілоти (спостереження за птахами з повітря)

БЛА можуть надати чималу допомогу орнітологам. Дрони здатні, наприклад, здійснювати моніторинг популяції птахів і навіть вести їх підрахунок.

- 34) Огляд зсередини важкодоступних для людини об'єктів

Наприклад, огляд об'єктів зі складною геометрією - резервуари, тунелі, бойлерні котли, інші важкодоступні ділянки виробництва.

- 35) Охорона природи і безпілоти

Вивчення шляхів міграції диких тварин, ветеринарні послуги для диких тварин.

- 36) Пожежні і безпілоти

Безпосереднє гасіння пожеж з піднятого безпілотником на необхідну висоту пожежного рукава.

- 37) Пошук і виявлення об'єктів з безпілота

Пошук, виявлення і ідентифікація об'єктів в режимі реального часу.

Пошуково-рятувальні роботи.

38) Проектні роботи і безпілотники

Вибір трас лінійних споруд, участь в інженерно-геодезичних вишукуваннях, проектування інженерної інфраструктури.

39) Розваги і безпілотники

Розгляд або аерофотозйомка об'єкта з повітря, спорт і інші змагання.

40) Реклама і безпілотники

Безпілотник переносить рекламний банер.

41) Ріелтери та безпілотники

Клієнтам демонструють відео об'єктів і їх околиць.

42) Сільське господарство і безпілотники

БПЛА можуть бути ефективно використані для планування і контролю етапів сільськогосподарського виробництва, а також для хімічної обробки посівів та інших рослин.

43) Селфі з безпілотників

Літаючі камери, селф-коптери, призначені для фотографій себе.

44) Силові, охоронні структури і безпілотники

В Лондоні мають намір переслідувати злочинців за допомогою БПЛА - це дешевше і безпечніше для поліції і оточуючих, ніж при використанні мотоциклів і вертольота.

45) Складське господарство і безпілотники

Перше відоме застосування безпілотників на складах - інвентаризація.

46) Рятувальники і безпілотники

Дрони намагаються задіяти для виявлення акул близько пляжів.

47) Порятунк на водах і безпілотники

Допомога потопаючим.

48) Будівництво і безпілотники

Підготовка проекту. Планування робіт і контроль за ходом їх виконання. Моніторинг дотримання вимог техніки безпеки.

#### 49) ТВ, інтернет-ТВ, стрінгерство і безпілотники

Незабаром Periscope дозволить бажаючим власникам DJI виводити стрім з вбудованою відеокамери в Periscope в реальному часі .

#### 50) Телекомунікації та безпілотники

Безпілотники в зв'язку можуть використовуватися для ретрансляції сигналів; дослідження картини поширення радіосигналів; обстеження веж стільникового зв'язку; безпілотники, як "вузли" підключення до інтернету (IoD, InternetofDrones).

#### 51) Телеприсутність і безпілотники

Забезпечення телеприсутності для людей з обмеженою рухливістю.

#### 52) Трубопроводи і безпілотники

Протяжні трубопроводи швидко обстежуються БПЛА.

#### 53) Екологія і безпілотники

Боротьба з бракон'єрами, виявлення міграційних шляхів тварин, виявлення порушень норм екологічного законодавства, вивчення танення полярних льодів, моніторинг лісів, моніторинг узбережжя.

#### 54) Енергетика і безпілотники

Необхідний періодичний моніторинг з повітря, як лінійних, так і висотних об'єктів з різноманітними цілями. Ще одна професія БПЛА - вибір оптимального розміщення сонячних панелей на місцевості після її обстеження з повітря.

### 1.7 Склад безпілотного авіаційного комплексу (БАК)

БПС працює без людини на борту. У безпілотному авіаційному комплексі (БАК) він може бути один або їх може бути кілька. У цілому БАК складається власне із БПС й наземного (повітряного, надводного) пункту управління. Щоб БПС міг здійснити політ, безпілотний авіаційний комплекс повинен складатися з наступних елементів [5]:

- власне БПС;
- станції контролю (управління) БПС і системи антен;

- програмного забезпечення і системи контролю стану борту БПС;
- за собою в зв'язку (земля/повітря і повітря/земля) для управління повітряним рухом і корисним навантаженням БПС;
- терміналів обробки даних;
- посадкової системи;
- системи запуску і системи відновлення стану в польоті;
- обслуговування для обслуговування і підтримки стану БПС і його систем;
- системи зберігання та транспортування БАК.

При цьому БАК повинен обслуговуватися кваліфікованим наземним персоналом.

### **Висновки до розділу 1**

На даний момент безпілотні літальні апарати дуже широко використовуються майже в усіх галузях. Таке широке використання обумовлюється тим, що БПЛА значно дешевший інших повітряних транспортів, потребує лише одного спеціаліста, має менші розміри і значно безпечніший.

## Розділ 2. ПРОВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРО- І ЕНЕРГОАУДИТУ З ТЕПЛОВІЗОРА НА БПЛА

### 2.1 Обстеження тепломагістралей і ЛЕП

Зараз в Україні застарілі тепломагістралі і електромагістралі. Дуже часто виходять з ладу. Люди повертаючись з роботи до дому дуже часто не мають світла і тепла. Виявити швидко розрив тепломагістралі або електромагістралі не вдається. Для цього потрібно обстежувати досить протяжну відстань для виявлення витоку.

ЛЕП це дуже складна і небезпечна конструкція, без якої сучасний світ важко уявити. Вони мають досить велику протяжність повз різні складно-доступні місця. Їх дуже часто потрібно обслуговувати і обстежувати.

При виявленні витоку електромагістралі спеціалісти також не знають заздалегідь об'єми роботи і яка зона ураження струмом.

В даний час, проблема своєчасного моніторингу дефектів повітряних ліній з метою їх якнайшвидшого усунення, стоїть досить гостро. Подібна робота необхідна не тільки з метою загального спрощення експлуатації ЛЕП, а й з точки зору економії, адже заміна обладнання, викликана розривом ліній, може коштувати досить дорого. І це не враховуючи ті витрати, які несуть за собою втрата електроенергії і оплата роботи ремонтних бригад. Виходячи з цього, можна сказати, що моніторинг ліній електропередач є найважливішим моментом в їх експлуатації. [8]

Обстеження ЛЕП за допомогою безпілотних літальних апаратів є відносно новим, але надзвичайно ефективним методом. Особливо він актуальний для наших географічних умов, коли наземний транспорт не завжди має можливість дістатися до об'єкта перевірки. [8]

Відмінною особливістю даної технології вважається точне визначення проводів ліній електропередач, а також побудова їх 3D-моделі і просік, на підставі отриманих даних від аерофотозйомки. Крім неї, в моніторинг ЛЕП

входить обробка, аналіз і візуалізація отриманих відомостей. Також перелік робіт включає в себе огляд окремих опор за допомогою безпілотників. [8]

Обстеження повітряних ліній електропередач починається з процесу аерофотозйомки за допомогою БПЛА. Фотографування проводиться на підставі отриманих відомостей від замовника, що стосуються параметрів коридору зйомки і координат опор. [8]

В процесі роботи ведеться журнал досліджень, в який заноситься інформація про швидкість вітру, температуру повітря, а також напрузі струму в мережі. Останні відомості зобов'язаний надати замовник. Всі ці дані вкрай важливі для здійснення коректної процедури моніторингу. [8]

Політ безпілотника проводиться уздовж ЛЕП в чотири прольоти з перекриттям в 80%. Якщо в роботі важлива швидкість, то можна одночасно використовувати два БПЛА, які будуть рухатися назустріч один одного з різних кінців ліній електропередач. На них розташована камера з певним нахилом - від 10 до 20 градусів в сторону ЛЕП при невеликому відхиленні назад щодо маршруту польоту. Саме таке розташування дозволяє отримати більше відомостей про об'єкт, а також зняти кадри з різних ракурсів, що важливо для створення якісної моделі в 3D. [8]

## **2.2 Фотографічна аерозйомка та її види**

Аерозйомкою називається зйомка земної поверхні з ПС, штучного супутника Землі або ракети з використанням знімальних систем (приймачів інформації), що працюють у різних зонах спектра електромагнітних хвиль [9].

Розрізняють фотографічну (аерофотозйомка), аеровідеозйомку, теплову, тепловізійну, комбіновану, спектрональну та радіолокаційну аерозйомку[9].

Аерофотозйомка – це фотографування в усіх діапазонах оптичного спектру місцевості з повітря спеціальним АФА. Аерофотоапарати характеризуються в основному розмірами отриманого аерофотознімка і величиною фокусної відстані  $f$ . Аерофотознімок – фотографічне зображення місцевості, отримане за допомогою АФА. У геометричному відношенні



аерофотознімок є центральною (або іншою) проекцією, центром проектування якої є задня вузлова точка об'єктива АФА[9].

На сучасних АФА прийняті розміри знімків  $18 \times 18$  см і  $30 \times 30$  см; за величиною фокусної відстані поділяються на короткофокусні ( $f$  до 150 мм), середньофокусні ( $f$  від 150 до 300 мм), довгофокусні ( $f$  понад 300 мм) [9].

Аерофотознімки поділяються на горизонтальні – отримані при строго прямовисному положенні осі АФА; планові – отримані під час планової аерофотозйомки, коли відхилення оптичної осі АФА від прямовисного положення не перевищує  $3^\circ$ ; перспективні – отримані при перспективному аерофотозніманні; кольорові – місцевість відтворена у кольорах, близьких до натуральних; спектрональні – кольорові аерофотознімки, на яких об'єкти місцевості зображуються в умовних кольорах (червоному, зеленому, блакитному тощо); топографічні – отримані для топографічних завдань [9].

Фотозйомка - це початкова стадія фотографічного процесу, що виконується за допомогою АФА, під час якої у світлочутливому шарі фотоматеріалу під дією світла, що випускається або відбивається об'єктом, з'являється приховане зображення цього об'єкта [9].

Залежно від положення головної оптичної осі, АФА розрізняють зйомки горизонтальні, планові, перспективні, щілинні, панорамні [9].

Горизонтальна аерофотозйомка – фотографування місцевості при прямовисному положенні оптичної осі аерофотоапарата. Вона використовується в картографії, при геодезичних, геологічних дослідженнях, інженерних вишукуваннях тощо. Результати аерофотозйомки є первинними для створення топографічних карт і планів усього масштабного ряду, а також для тематичного картографування[9].

Плановою аерофотозйомою називається фотографування місцевості при положенні оптичної осі АФА, близькому до вертикального (рис. 2.1). Величина відхилення не перевищує 3 градуси (середнє значення близько 1,5), а із застосуванням гіростабілізуючих пристроїв вона зменшується до 30 градусів. В Україні для картографування проводиться тільки планова

аерофотозйомка у масштабах[9]: 1:10 000 – 1:10 000-1:15 000; 1:25 000 – 1:20 000-1:35 000; 1:50 000 – 1:35 000-1:60 000; 1:100 000 – 1:65 000-1:120 000.

Масштаб вибирається залежно від характеру місцевості та способу обробки аерофотознімків[9].

Перспективна аерофотозйомка– фотографування місцевості АФА (рис. 2.1), оптична вісь якого відхилена від вертикалі на деякий постійний кут ( $>3^\circ$ ). Цей вид аерофотозйомки застосовується архітекторами, як звіт про виконану роботу, під час контролю навколишнього середовища і у лісівництві, в окремих випадках в археології, також під час оцінки стану ліній електропередач, нафто- і газопроводів, залізниць, оцінки наслідків стихійних лих, пожеж і техногенних катастроф, інвентаризації земель і виготовлення кадастрових планів. Перспективна аерофотозйомка застосовують також для фоторепортажу спортивних подій, у рекламному і туристичному бізнесі тощо [9].

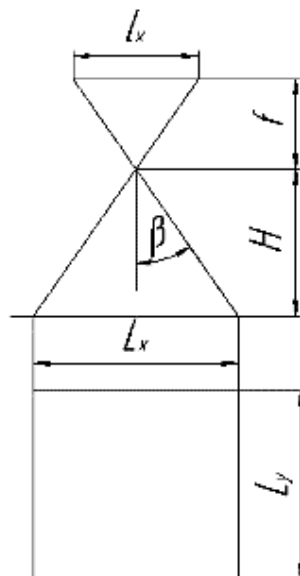


Рис. 2.1. Схема планової аерофотозйомки:

$l_x$  - розмір сторони аерознімка, паралельної до напрямку польоту;  
 $L_x$  - захоплення на місцевості поздовжньою стороною аерознімка;  
 $L_y$  - захоплення на місцевості поперечною стороною аерознімка;  
 $f$  – фокусна відстань об'єктива АФА;  $\beta$  - половина кута поля зображення АФА;  $H$  – висота фотографування.

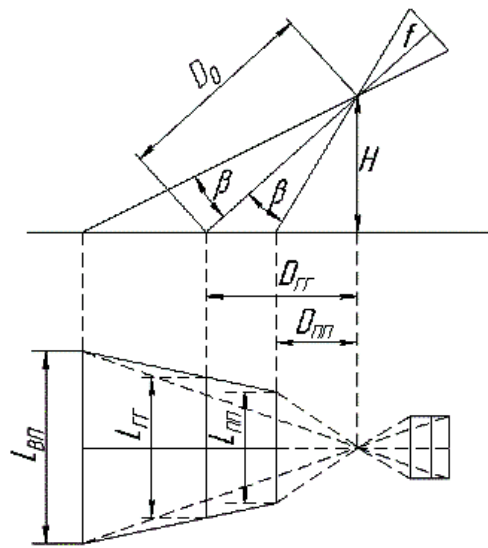


Рис. 2.2. Схема перспективної аерофотозйомки:

$D_0$  – відстань від фокуса до об'єкта фотографування;  $D_{гг}$  – віддалення від проекції точки місцезнаходження ПС в момент експонування проекції переднього плану;  $D_{пп}$  – віддалення від проекції точки місцезнаходження ПС в момент експонування проекції головної горизонталі;  $L_{гг}$  – захоплення на місцевості аерознімком по головній горизонталі;  $L_{пп}$  – захоплення на місцевості аерознімком по передньому плану;  $L_{п}$  – захоплення на місцевості аерознімком по віддаленому плану.

Щілинна аерофотозйомка – це фотознімання, під час якого внаслідок безперервного руху аерофотоплівки повз вузьку щілину АФА, перпендикулярно до напрямку польоту, з'являється зображення у вигляді безперервної смуги [9].

Панорамна аерофотозйомка – це фотографування місцевості АФА на циліндричну поверхню або з обертовим об'єктивом. Таке аерозйомка захоплює не тільки сам об'єкт, але й прилеглі до нього ділянки, будівлі, дороги тощо[9].

Залежно від кількості АФА, аерофотозйомка поділяється на одноапаратну та спарену (стереозйомка)[9].

Одноапаратна аерофотозйомка виконується одним АФА. Спарена аерофотозйомка – це фотозйомки двома АФА або синхронно одинарними АФА із двох повітряних суден[9].

Аерофототопографічною зйомкою називається вид топографічної зйомки, з використанням аерофотознімків. Може проводитись двома методами – комбінованим і стереотопографічним. Комбінований метод – поєднання фотограмметричної обробки аерофотознімків з мензульним зніманням. За аерофотознімками складається фотоплан, а потім на репродукції з нього знімають у натурних умовах рельєф прийомами мензульного (на місцевості) знімання. Застосовується для зйомки рівнинних районів [9].

Стереотопографічний метод ґрунтується на використанні стереоскопічної властивості двох знімків однієї і тієї ж місцевості. За стереопарами в камеральних умовах отримують контури і рельєф місцевості. Залежно від приладів, які застосовуються при обробці аерофотознімків, виділяють два способи – універсальний і диференціальний[9].

При універсальному способі використовують прилади такого типу, які дають можливість виконати на одному приладі всі процеси перетворення аерофотознімків у план, у тому числі й зйомки контурів і рельєфу (так звані універсальні прилади) [9].

При диференціальному способі використовують декілька приладів, кожен з яких призначається тільки для якогось одного процесу: для згущення мережі опорних точок – стереокомпаратор, для рисування рельєфу – стереометр, для перенесення на планшет контурів і рельєфу – проектор і трансформатор[9].

Залежно від масштабу, аерозйомку поділяють на великомасштабну (масштаб більше 1:10 000), середньомасштабну (масштаб від 1:10 000 до 1:30 000), дрібномасштабну (масштаб менше 1:30 000) [9].

Залежно від характеру покриття місцевості аерофотозйомкою, її підрозділяють на покадрову, маршрутну й багато маршрутну [9].

Покадрова аерофотозйомка – аерофотозйомка, при якій поверхня об'єктів дослідження зображуються у вигляді окремих фотознімків [9].

Маршрутна аерофотозйомка – аерофотозйомка, при якій смуга місцевості (рис. 2.3) фотографується по напрямку польоту повітряного судна[9].

При багато маршрутній (площинній) аерофотозйомці проводиться зйомка площі земної поверхні з декількох паралельних маршрутів [9].

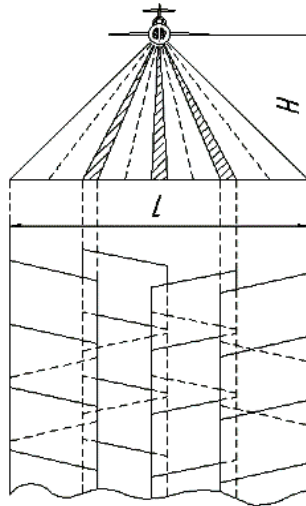


Рис. 2.3. Схема маршрутної аерофотозйомки:

$L$  – ширина смуги місцевості, що фотографується за один захід ПС;

$H$  – висота фотографування

Під час прокладання маршруту частина ділянки місцевості, сфотографованої на одному знімку, повинна фотографуватися й на іншому[9].

Залежно від часу доби, коли проводиться фотографування, розрізняють денну й нічну аерофотозйомку. Нічну аерофотозйомку проводять з використанням джерел штучного освітлення, зокрема піротехнічних (фотобомб, фоторакет), електричних джерел світла тощо[9].

Крім того, вночі виконується такі аерозйомки:

- теплова (інфрачервона)
- тепловізійна
- спектрональна
- радіолокаційна

Аерофотозйомку можна виконувати в різні пори року. Однак топографічну можна проводити тільки в 2 періоди року (з огляду на найкращу

видимість рельєфу): навесні – до появи листя, або пізно восени – до утворення снігового покриву[9].

Аеровідеозйомку розрізняють телевізійну ( в режимі реального часу) та відео- (виконану за допомогою відео системи із записом відзнятих матеріалів). Її різновидом є аерокінозйомка, виконана за допомогою кіноапаратури [9].

Телевізійна аерозйомка виконується за допомогою телевізійної знімальної системи. Її застосовують для спостереження, вивчення режимів руху транспорту на магістралях, трансляції на телебаченні спортивних подій тощо [9].

### 2.3 Особливості аерозйомки в невидимому спектрі електромагнітних хвиль

У багатьох галузях економіки широко застосовують теплову та тепловізійну аерозйомку. Спектр електромагнітних хвиль, які здебільшого використовуються для цього подано у табл. 2.1 [9].

Найпоширенішою є аерозйомка земної поверхні в тепловому діапазоні з прив'язуванням до географічних координат [9].

Розрізняють фотографічну теплову аерозйомку в ближній інфрачервоній зоні (ІЧ) спектру (0,8—1,1 мкм), і в далекій ІЧ- зоні (1,2—15 мкм). Камери реєструють теплові випромінювання й перетворюють їх на світлові зображення на фотоплівці. В обох випадках одержують чорно-білі аерознімки, зовні подібні до звичайних [9].

Таблиця 2.1.

Застосування електромагнітних хвиль в аерозйомці

Назва зони шкали хвиль	Частота, Гц	Назва групи всередині зони шкали	Довжина хвиль, см
Радіохвилі	Нижче $10^5$	Довгі	Більше $3 \cdot 10^5$
	$(1 \div 15) \cdot 10^5$	Середні	$3 \cdot 10^5 \div 2 \cdot 10^4$

	$(1,5 \div 30) \cdot 10^6$	Короткі	$2 \cdot 10^4 \div 10^5$
	$(3 \div 30) \cdot 10^7$	Метрові	$10^3 \div 10^2$
	$(3 \div 30) \cdot 10^8$	Дециметрові	$100 \div 10$
Інфрачервоні	$(3 \div 400) \cdot 10^{12}$	Декамікронні	$10^{-2} \div 10^{-3}$
		Мікронні	$10^{-3} \div 0,76 \cdot 10^{-4}$
Світлові	$(4 \div 8) \cdot 10^{14}$	Червоні	$(0,76 \div 0,62) \cdot 10^{-4}$
		Жовтогарячі	$(0,62 \div 0,59) \cdot 10^{-4}$
		Жовті	$(0,59 \div 0,56) \cdot 10^{-4}$
		Зелені	$(0,56 \div 0,50) \cdot 10^{-4}$
		Блакитні	$(0,50 \div 0,48) \cdot 10^{-4}$
		Сині	$(0,48 \div 0,45) \cdot 10^{-4}$
Ультрафіолетові	$(8 \div 600) \cdot 10^{14}$	Найближчі	$(0,38 \div 0,05) \cdot 10^{-4}$
		Далекі	$(50 \div 5) \cdot 10^{-7}$

Комбінована аерозйомка виконується в тепловому й видимому діапазонах з прив'язуванням до географічних координат. Застосовується для складання каталогів теплових і відеозображень об'єктів, схем маршрутів авіаційного обліку із вказівкою координат точок виявлення. Аналіз виконується в геоінформаційній системі (ГІС). Основним для виявлення об'єктів є теплове зображення, у якому забезпечується високий тепловий контраст стосовно фону. Розпізнавання здійснюється за відеозображенням [9].

Спектрональна аерофотозйомка виконується одночасно в декількох зонах спектру електромагнітних хвиль. Вказана аерофотозйомка ефективна при загально географічному та геологічному вивченні Землі, лісовпорядкуванні, створенні карт ґрунтів, вивченні континентального шельфу, плануванні у містобудівництві тощо, оскільки відбивна здатність наземних природних і штучних утворень змінюється залежно від довжини

хвилі. Тому виділені об'єкти фіксуються на аерознімку з необхідним контрастом в одному діапазоні світлових променів, а частина – в іншому[9].

Основним видом спектрозональної аерофотозйомки є кольорова спектрозональна, яку виконують звичайним АФА (з жовтим або червоним світлофільтром) на аероплівці, що має на єдиній підкладці два або більше емульсійних шари, що розрізняються по спектральній чутливості й містять ті компоненти, які при кольоровому проявленні утворюють барвники, що доповнюють один одного по кольорах [9].

Кольорові спектрозональні аерознімки характеризуються також досить високими вимірювальними якостями, що зумовлює їх широке використання у фотограмметрії. Розроблено й успішно впроваджується варіант спектрозональної аерофотозйомки, при якій повітряне фотографування здійснюється синхронно трьома чи заблокованими АФА (або одним багато об'єктивним) на декількох чорно-білих аероплівках, чутливих до випромінювання в різних зонах спектра. Їх експонують з використанням цілої серії різних світлофільтрів для того, щоб виділити потрібні деталі і забезпечити виготовлення комплекту порівняльних аерознімків. Вона одержала назву мультиспектральної аерофотозйомки (багатозональної або багатоканальної) [9].

Ультрафіолетова аерозйомка - фотографування місцевості з повітря в ультрафіолетових зонах спектру електромагнітних хвиль, що виконується вночі. Радіолокаційна аерозйомка – одержання зображень місцевості за допомогою радіолокаційної апаратури. Воно може проводитися для вивчення об'єктів закритих снігом, рослинністю та іншим покривом[9].

## **2.4 Моніторинг ЛЕП за допомогою БПЛА**

На ділянках ліній електропередачі, що знаходяться у важкодоступних місцях, обстеження наземними методами може затягнутися на кілька днів або навіть тижнів, а за допомогою БАС - займе кілька годин. Перелічимо основні види робіт, для яких можливе застосування безпілотних систем [10]:



- планова діагностика
- обліт, спостереження і фотографування ЛЕП на малих і середніх висотах, інспекція стану ЛЕП і їх охоронних зон, виявлення дефектів і порушень, визначення просторових порушень (в плані і по висоті) габаритів просіки і проводів;
- аварійно-востановлюючі роботи
- обліт ЛЕП на середніх висотах при різних метеоумовах, з використанням фотоспалаху або тепловізора в нічний час;
- топографо-геодезичні роботи
- створення цифрових топографічних і кадастрових планів, тривимірних моделей місцевості і ліній електропередачі, супровід робіт з будівництва та реконструкції ЛЕП.

Моніторинг ЛЕП за допомогою БАС є безпечним, так як політ здійснюється на малих висотах і без екіпажу на борту. Крім того, існує ще ряд переваг [10]: можливість зйомки в складних метеоумовах і отримання повної і документованої інформації. ЛЕП обстежується на всій протяжності, зйомка здійснюється з різних ракурсів, а отримані знімки мають високу роздільну здатність.

Цифрові знімки, отримані за допомогою БАС, дозволяють проаналізувати досить велике число дефектів, таких як [10]:

1. Дефекти опор - відсутність, відрив, деформація елементів металевих опор; руйнування верхнього шару і деформація залізобетонних опор; відхилення опор від вертикалі; розворот, деформація траверсів на залізобетонних опорах; відсутність натягу внутрішніх стяжок і тросових розтяжок; падіння, пошкодження опор.
2. Дефекти проводів, лінійної і зчпний арматури - раз рушення елементів скляних і фарфорових ізоляторів; відсутність гасителів вібрації, відсутність вантажів, втрата працездатності несе троса, зміщення віброгасителів уздовж проводів щодо проектного положення; відсутність і неправильне

розташування з'єднувачів проводів; злами, відриви променів дистанційних розпірок між проводами розщепленої фази; обрив проводів.

3. Дефекти на трасі - наявність небезпечної для експлуатації повітряних ЛЕП рослинності; падіння дерев на проводи і опори; наявність деревно-чагарникової рослинності в охоронній зоні; наявність будівель та інших об'єктів в охоронній зоні; перетин з природними та антропогенними об'єктами; небезпечні явища (просідання ґрунту, підтоплення та ін.).

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) дозволяє виконувати аерофотознімання уздовж траси ЛЕП. За цими даними можуть бути визначені точні координати опор ЛЕП. Що знаходиться на БПЛА фотоапаратура дає знімки з високою роздільною здатністю, на яких добре видно охоронні і санітарно-захисні зони. Ширину їх можна контролювати. Встановлена відеоапаратура надає відеозйомку в реальному часі. Наявність сторонніх предметів, машин і людей, які виробляють несанкціоновані дії в охоронних зонах дозволяє виявити повітряний моніторинг. [4]

За допомогою безпілотників вимірюються такі параметри проводів, як стріла провисання і габарити. Ці дані дозволяють контролювати відповідність габаритів проводів нормам при появі нових інженерних об'єктів поблизу або проходять під ЛЕП. Здійснюється нагляд за рослинністю, що запобігає появі загрози цілісності проводів. [4]

Застосування безпілотників дозволяє обстежити стан ізоляторів, так як БПЛА можуть літати на невеликій висоті. При аварійному відключенні неоціненну інформацію про дефекти проводів можна отримати дуже швидко. За матеріалами, що отримуються з БПЛА, достовірно оцінюється заподіяний збиток після виникнення позаштатних ситуацій. [4]

Результатом виконаних робіт можуть бути наступні матеріали [11]:

1. Топографічний план території уздовж лінії ЛЕП на ширину, необхідну замовнику.

2. Топографічні плани територій, передбачуваних до будівництва нових ліній.

3. Ортофотоплан і векторні карти спостерігається території. Шари векторних карт можуть містити всю необхідну замовника інформацію.

4. Обробка в спеціалізованому програмному забезпеченні даних фото- і відеозйомок призводить до побудови 3D-моделі місцевості.

5. Відомість координат опор ЛЕП.

6. Таблиці обчислених значень стріли дроти.

7. Таблиці встановлених габаритів проводів.

8. Фотографії та відеозйомку, констатують стан ізоляторів.

## 2.5 Оцінка і аналіз зйомок

У процесі зйомки з повітря створюється велика кількість інформації, яка важко піддається аналізу. Для візуалізації отриманих цифрових даних використовується спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє проводити вимірювання по тривимірної моделі ліній електропередач. [4]

В цілому, процес являє собою фотограмметричну обробку даних:

- Зшивання окремих кадрів.
- Створення ортофотоплану (формат KMZ).
- Побудова ЦММ - цифрової моделі місцевості (формат TIF).

Спеціальне ПЗ дозволяє визначити просторове положення проводів. Точність складає від 10 до 15 см. ЦММ і ортофотоплан необхідні для визначення стану ліній електропередач. [4]

Після обробки даних, вони повністю доступні для перегляду. Після цього відбувається детальний аналіз інформації, на підставі якого можна виявити фактичний стан ЛЕП. [4]

Оцінці піддаються наступні моменти [4]:

- Загальна довжина ліній електропередач.
- Площа ділянки, навколишнього ЛЕП, який покритий лісовою рослинністю.
- Загальна кількість дерев, а також визначення їх діаметра.
- Координати опор ЛЕП, а також відстань між ними.

- Оцінка прохідності шляхів до лінії електропередач.
- Болотисті місця.
- Визначення висоти рослин, розташованих під проводами.

Сучасні БПЛА дозволяють оглядати окремі опори конструкцій ліній електропередач, не вдаючись до відключення і використання додаткового обладнання. [4]

В ході роботи можна побачити такі проблеми [4]:

- Механічні пошкодження окремих складових конструкцій.
- Нахил опори щодо напрямку лінії електропередач.
- Виявити непридатні ізолятори.
- Наявність наброса проводів.
- Відсутність будь-яких деталей.
- Наявність перегріву на окремих ділянках, якщо використовувати тепловізор.
- Виявлення «баранчиків» і «ліхтарів».
- Обрив і інші пошкодження проводів.
- Нещільне з'єднання кріпильних елементів.

## 2.6 Енергоаудит за допомогою БПЛА

При виявленні витоку тепломагістралі спеціалісти не можуть заздалегідь виявити об'єми витоку гарячої води, що доставляє труднощі спеціалістам, як по часу так і по безпеці.

Зйомка за допомогою дрона з тепловізором дозволяє безконтактним способом (на відстані) діагностувати будівлі на предмет витоку тепла, яке активно втрачається будинком через вікна, стіни, покрівлю, підлогове покриття. Візуально це відстежити неможливо, але переконливим доказом є квитанції, що свідчать про підвищений витрати електроенергії та газу для обігріву. [3]

Після обстеження стає зрозуміло, на яких ділянках відбуваються максимальні теплові втрати і де буде потрібно утеплити будинок. Це може

бути неякісно виконана цегляна кладка, погано закладені міжпанельні шви, невдало встановлені вікна, двері, кондиціонери, поспішно покладений «покрівельний пиріг», а також неграмотно зроблена зовнішня ізоляція будматеріалами. [3]



Рисунок 2.4-зправа і 2.5-зліва. Інфрачервона зйомка житлової будівлі

Термографія сприяє виявленню доказів браку в роботі проектувальників, що готують документацію для майбутнього будівництва, та бригад, що зводять будинок. [3]

Прилади для виміру енергетичних втрат були створені в 30-х роках минулого сторіччя. Вони працювали на основі отримання інфрачервоного сигналу і його трансформування в електричний імпульс. Через чотири десятиліття конструкція була модифікована. Сформоване під час дослідження об'єкта інфрачервоне зображення теплового потоку перетворювалося на видиме шляхом відображення картинки на екрані, покритому світлочутливою речовиною. В якості індикаторів світла застосовували рідкі кристали, плівки з напівпровідників, люмінофорні частинки. Сьогодні замірюючі пристрої застосовують для різних цілей, але особливо цінним вважається їх використання в будівництві. Розвиток технологій, зокрема, мікропроцесорів, сенсорів і оптики дозволило зробити тепловізори досконалішими порівняно з тими, які випускалися 20 і більше років тому. Громіздкі моделі вагою до 30 кг канули в лету. Вага сучасного, професійного, портативного приладу не

перевищує 0,5 кг, що значно полегшує використання як корисне навантаження для БПЛА. Серед основних функцій інфрачервоної камери числиться фотозйомка. Велика частина моделей дозволяє провести обстеження будь-якого будинку тепловізором, записуючи відео в інфрачервоному спектрі для отримання більш якісної оцінки стану об'єкта.[3]

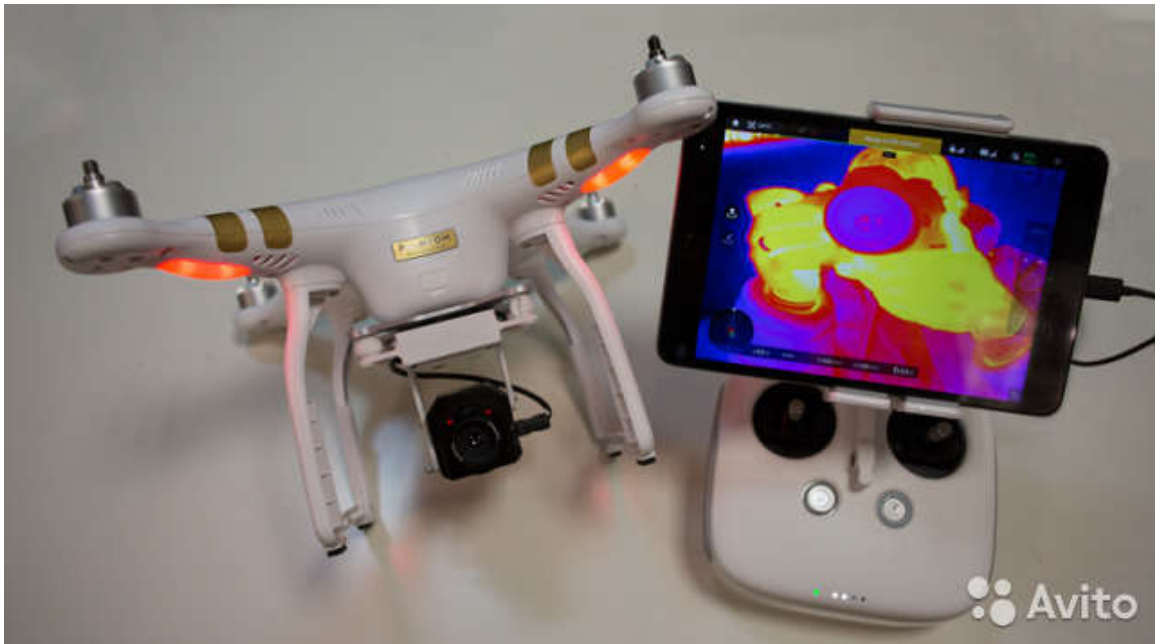


Рисунок 2.6 Квадрокоптер з тепловізором і онлайн передачею зображення

Велика частина моделей дозволяє провести обстеження будь-якого будинку тепловізором, записуючи відео в інфрачервоному спектрі для отримання більш якісної оцінки стану об'єкта. [3]

Сучасні моделі обладнані рідкокристалічними дисплеями, необхідними для відображення оперативної інформації. Однак їх високу якість не може свідчити про якість пристрою в цілому. Основний параметр - потужність мікропроцесора, використовуваного для кодування отриманої інформації. Швидкість обробки даних відіграє основну роль, так як знімки, зроблені без гіростабілізатора, можуть бути розмитими.[3]

Дефекти будівельних робіт відображаються на екрані камери у вигляді термограми (своєрідне фото). Тепловізори для будинків, найбільш просунуті моделі, дозволяють змінювати програмні установки, наприклад, колірну гамму з метою отримати дані в специфічному форматі для більш точної оцінки стану

об'єкта. Деякі з них мають вбудовані інтерфейси бездротової передачі інформації або usb-порт для швидкого перенесення даних. [3]

Перевірка будинку будівельним тепловізором дозволяє дізнатися локалізацію теплових втрат. Застосування цього приладу дає можливість визначити приховані проблеми [3]:

- недоліки ізоляції;
- холодні мости;
- джерела витоку тепла.

Для обстеження тепломагістралей, електромагістралей і витоку тепла з будинків, доцільніше використовувати додатково тепловізійну камеру. [3]

## **2.7 Принцип дії тепловізора**

Будь-який об'єкт випромінює електромагнітні хвилі в дуже широкому діапазоні частот, в тому числі і хвилі в інфрачервоному спектрі, так зване «теплове випромінювання». При цьому інтенсивність теплового випромінювання безпосередньо залежить від температури об'єкта, і лише в дуже малому ступені залежить від умов освітленості у видимому діапазоні. Таким чином, за допомогою тепловізійного приладу при будь-якому спостережуваному об'єкті може бути зібрана і візуалізована додаткова інформація, недоступна людському оку і приладам. Тепловізор - пристрій, що дозволяє візуалізувати картину теплового випромінювання об'єкта, що спостерігається. Це відкриває ряд унікальних можливостей для різних сфер діяльності: точних вимірювань, контролю технологічних процесів, і звичайно - забезпечення безпеки. [3]

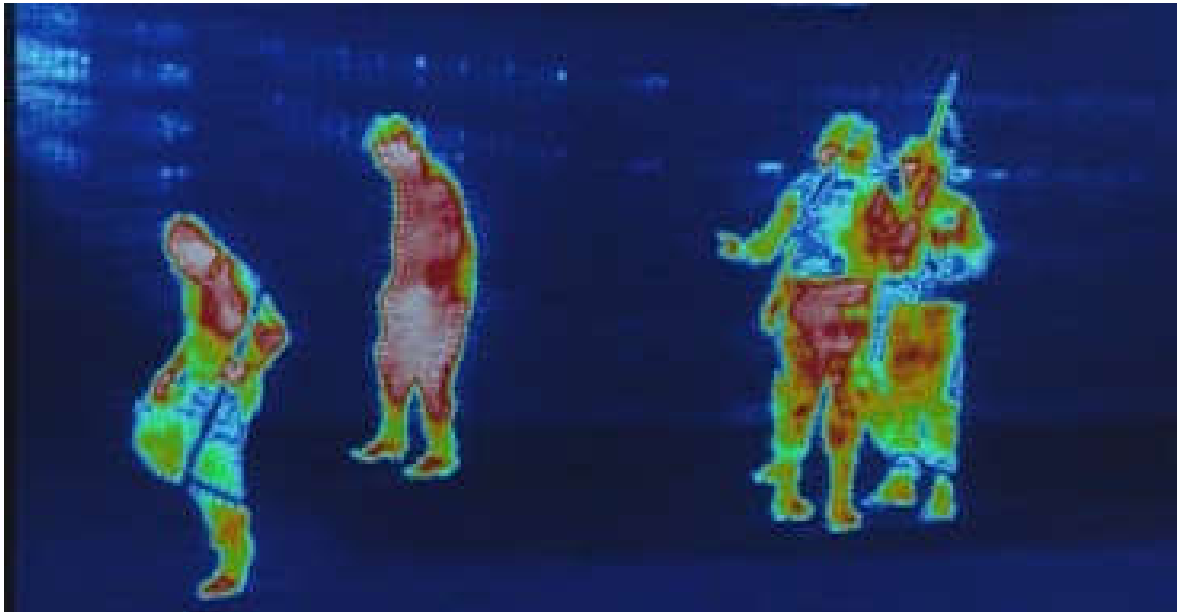


Рисунок 2.7 зйомка людей з тепловізора

Принцип дії сучасних тепловізорів заснований на здатності деяких матеріалів фіксувати випромінювання в інфрачервоному діапазоні. За допомогою оптичного приладу, до складу якого входять лінзи, виготовлені із застосуванням рідкісних матеріалів, прозорих для інфрачервоного випромінювання (таких як германій), теплове випромінювання об'єктів проектується на матрицю датчиків, чутливих до інфрачервоного випромінювання. Далі складні мікросхеми зчитують інформацію з цих датчиків, і генерують відеосигнал, де різна температура об'єкта, що спостерігається відповідає різному кольору зображення. Шкала відповідності кольору точки на зображенні до абсолютної температури спостережуваного об'єкта може бути виведена поверх кадру. Також можливе зазначення температур найбільш гарячої і найбільш холодної точки на зображенні. Залежно від моделі тепловізори розрізняються по величині кроку вимірювання температури. Сучасні технології дозволяють розрізняти температуру об'єктів з точністю до 0,05-0,1 К. [3]





Рисунок 2.8 зйомка з чорно-білого тепловізора

Багато тепловізійних приладів також оснащені пристроями пам'яті для запису отриманого відеозображення картини теплового випромінювання, продуктивними мікропроцесорами, що дозволяють здійснювати в режимі реального часу мінімальну аналітику отриманого в результаті сканування зображення інфрачервоного випромінювання. Досить часто використовується конфігурація спільного використання тепловізора та відеокамери, що дозволяє в загальному випадку отримати зображення об'єкта в «розширеному» діапазоні об'єднаних інфрачервоного і видимого спектрів, а в несприятливих умовах (наприклад - відсутність освітлення об'єкта) спостерігати об'єкт хоча б в одному з діапазонів. ІК або видимий діапазон можуть як накладатися один на одного, так і транслюватися окремо. Спеціальне програмне забезпечення дозволяє налаштувати роботу тепловізійного комплексу. [3]

Точність зображення та інші характеристики тепловізора зазвичай визначаються сферою його використання. У наукових лабораторіях використовуються більш складні конструкції, що мають за рахунок вузької спеціалізації найменший крок вимірюваної температури. Для забезпечення

безпеки на різних об'єктах використовуються моделі, здатні фіксувати теплове випромінювання з трохи меншою точністю, проте працюють на більш широкому діапазоні частот і з більш ніж достатньою для ефективного виконання своїх функцій чіткою. У будь-якому випадку, принцип дії тепловізора - вимір і візуалізація теплового випромінювання - затребуваний у всіх сферах життя сучасного суспільства. [3]

## 2.8 Технічні характеристики тепловізора

Основними технічними характеристиками тепловізора, на які звертають увагу фахівці, є такі параметри, як:

- тип матриці,
- фокусна відстань,
- кути огляду
- діапазон вимірюваних температур
- роздільна здатність по температурі (різниця температур, еквівалентна шуму)
- миттєве поле зору (просторова роздільна здатність)
- робочий спектральний діапазон
- кількість елементів у приймачі випромінювання.

Звичайно, це тільки основні параметри, існують і інші.

На початку тепловізори переважно застосовувались для військових потреб, особливо на літальних апаратах. Такі системи мають назву інфрачервона камера для спостереження у передній півсфері. Можливості тепловізорів знайшли застосування в багатьох областях — від промислової індустрії до медицини. Останнім часом їх активно використовують в будівництві, житлово-комунальному господарстві та як прилад нічного спостереження. Також тепловізійну камеру вбудовують у цифрові мультиметри для виявлення місць перегріву електронних пристроїв. [12]

## **Висновки до розділу 2**

Завдяки новим теплові зорам, які значно менші і мають досить гарні характеристики, і новим технологіям у виробництві дронів, використання БПЛА з теплові зором на борту має багато перспектив і може використовуватися в багатьох сферах життя. Використання такого БАК є досить зручним в таких сферах, як енерго- і електроаудит. Сучасні БПЛА можуть задовольняти всі умови польоту і перевірок тепловтрат будівель, тепломагістралей і перегрівів контурів ЛЕП.

## **Розділ 3. СКЛАД БАС ТА ДОТРИМАННЯ ПРАВИЛ І УМОВ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БПЛА**

### **3.1 Типи БПЛА для електро- і енергоаудиту**

Дрони дуже сильно спрощують перевірку як енергоаудиту так і електроаудиту. Але дрони бувають різних видів. Головні види БПЛА за способом створення підйомної сили це мультикоптерного типу і літакового типу.

Переваги БПЛА мультикоптерного типу над літаковим:

- 1) Більш маневрений, а тому більш комфортне обстеження або слідування за об'єктом.
- 2) Краще протистоїть до поганих метеоумов.
- 3) Більш просте управління.
- 4) Дуже швидка зміна висоти
- 5) Висока ремонтпридатність
- 6) Відеозображення більш стабільне і чітке, тому що менше вібрацій.
- 7) Позиціонування більш точне
- 8) Простий взліт і посадка
- 9) Можливість зависання на одному місці
- 10) Маленький радіус повороту.
- 11) Більш швидке реагування на управління, що дозволяє легше облітати перепони.

Переваги БПЛА літакового типу над мультикоптерним:

- 1) Можливість планування, що перешкоджає положення вертикального падіння.
- 2) Велика максимальна швидкість
- 3) Витрати палива/аккумулятора менші, що дозволяє більше знаходитись у повітрі і пролетіти більші дистанції
- 4) Вантажопідйомність може бути менша ваги літака, так як він аеродинамічний.

З цих висновків зрозуміло, що використання БПЛА літакового типу більше підійде на великі відстані, а для більш важкодоступних і маленьких міст більш доцільно використовувати БПЛА мультикоптерного типу. Для міст досить використовувати БПЛА міні і мікро. Поза містами для протяжних польотів більше підійдуть дрони близької, короткої і середньої дальності. В середньому ці дрони мають такі характеристики:

Мікро дрони:

- Вага- до 5кг
- Радіус дії – до 10 км
- Висота польоту – рекомендована до 250 м
- Час польоту – в середньому 1 год

Міні дрони:

- Вага- від 20 до 150кг
- Радіус дії – до 10 км
- Висота польоту – рекомендована від 150 до 300 м
- Час польоту – в середньому до 2 год

Близької дальності дрони:

- Вага- від 25 до 150 кг
- Радіус дії – від 10 до 30 км
- Висота польоту – рекомендована до 3000 м
- Час польоту – від 2 до 4 год

Короткої дальності дрони:

- Вага- від 50-250 кг
- Радіус дії – від 30 до 70 км
- Висота польоту – рекомендована до 3000 м
- Час польоту – від 3 до 6 год

Середньої дальності дрони:

- Вага- від 150 до 500кг
- Радіус дії – від 70 до 200км

- Висота польоту – рекомендована до 5000 м
- Час польоту – в середньому від 3 до 6 год

Ці хар-ки можуть змінюватися так, як начинку безпілотної літальної апарату можна змінювати і налаштовувати під себе.

В міській місцевості кращим варіантом є використання мультикоптерного типу БПЛА. Тим більше, що він є більш маневреним, на нього можна начепити датчики відстані, щоб він міг в автоматичному режимі облітати перешкоди, яких в міській місцевості переважно багато. Завдяки цим датчикам забезпечується більша безпека і полегшується управління дроном.

В міській місцевості дрон буде перевіряти школи, дитячі садки, житлові будинки, офісні будинки, хати, магазини і т.п. на витік тепла з будівель. Також мультикоптер буде перевіряти тепломагістралі горячої води і центрального опалення. В містах, безпілотним літальним апаратом, будуть також обстежуватись лінії електропередачі і трансформатори.



Рисунок 3.1 труби тепломагістралі



Рисунок 3.2 відкриті трансформатори

За містом доцільніше використовувати безпілотні літальні апарати літакового типу, бо завдяки аеродинаміці вони можуть значно довше літати і швидше. Тому на великі і протяжні об'єкти, такі як лінії електропередачі або тепломагістралі, більш корисніше використання дрону літакового типу.

### 3.2 Структура БПЛА:

Характеристики безпілотного літального апарату:

#### 1) Електропривід

Електропривід в БПС застосовується з огляду на такі переваги:

- відсутність вогнебезпечного палива на борту;
- відсутність у СУ двигуна внутрішнього згорання та відповідно випускних газів із залишками мастила, які забруднюють довкілля;
- низький рівень шуму при роботі СУ;
- відносна простота конструкції електродвигунів та моторам для них;
- низький рівень вібрацій СУ;

До недоліків електроприводу можна віднести:

- значну вартість акумуляторних батарей та регуляторів електродвигунів;

- відносно високу масу акумуляторних батарей;

- невеликі запаси ходу БПС з електроприводом;

- невеликий ресурс акумуляторних батарей.

Двигун повинен бути безколекторним з повітряним охолодженням.

## 2) Акумулятор

На сьогоднішній день найпоширенішими акумуляторами являються літій-іонні:

Вони мають такі переваги:

- Висока ємкість

- Не потребують обслуговування

- Низький саморозряд при не використанні

- Можливість працювати з високими токами

Недоліки:

- Вогнебезпечні при механічних ушкодженнях

- Дуже швидко втрачають заряд в холодних умовах

- При перерозрядці втрачають свою працездатність

- Обмежений цикл зарядів до 500.

При використанні літій-іонних акумуляторів, потрібно забезпечити їх підігрів в холодно пору року. АКБ повинні задовільняти політ мінімум в 3 години. Зараз представлено багато нових АКБ, що мають малу вагу, більшу ємкість, ресурс роботи майже необмежений в порівнянні з літій-іонними. Але такі акумулятори поки що мають велику ціну і випускаються в малих об'ємах.

## 3) Корпус

Корпус безпілотного літального апарату повинен бути:

- Термостійким

- Водонепроникним



- Аеродинамічним і мати отвори для охолодження АКБ, ЕД і регулятора ЕД з дросельною заслінкою, якщо не передбачене рідинне охолодження.

- Легким і міцним (наприклад з таких матеріалів як: кевлар-карбону або карбон)

Останнім часом тканина кевлар-карбон стала часто використовуватися в авіації. Переваги цього пластику в тому що він отримав переваги від карбону (міцність на вигин) і від кевлару (міцність на проникність гострих предметів).

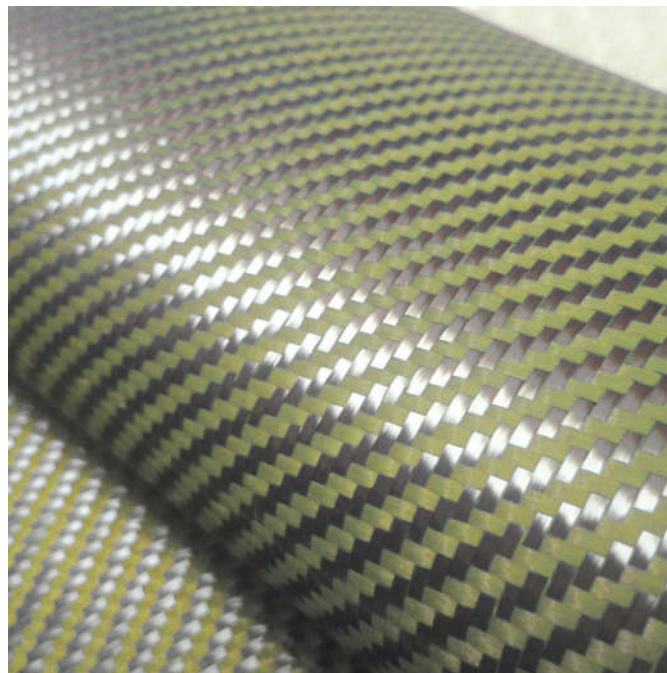


Рисунок 3.3 Приклад кевлар-карбоненої тканини

#### 4) Тепловізор

Тепловізор повинен бути на керуючому гіростабілізаторі, термостійким і вологозахищеною і мати такі хар-ки:

- Мінімальний робочий діапазон робот від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$
- Частота кадрів від 25Гц
- Теплова чутливість 50мК або менше
- Фокусна відстань  $F=1.4$  або менше
- Роздільна здатність матриці 640x480 або більше
- Коефіцієнт емісії 0.01-1.0
- Спектральний діапазон 8-14мкм  $\pm 0.5$ мкм

- Кількість палітр від 6
- Кут огляду від 25° x 20°
- Здатність записувати і передавати відео

#### 5) Відеокамера

Камера повина бути закріплена на керуючому гіростабілізаторі, термостікою і вологозахищеною. Також повина мати здатність записувати і передавати відео.

- Мінімальний робочий діапазон робот від -20°C до +50°C
- Частота кадрів від 50Гц
- Мати керовану фокусну відстань і світлосилу
- Роздільна здатність матриці 1920 x 1080 або більше
- Кут огляду від 120°
- Мінімальна затримка до 1 секунди
- З електростабілізацією

#### 6) Пристрої для безпеки

- Парашутна установка є обов'язковою для цих цілей
- Для екстреної посадки на черево БПЛА можна установити подушку безпеки
  - Обов'язковим є встановлення датчиків відстані, для БПЛА міських цілей, які в автоматичному режимі можуть облітати перепони або сповіщати оператора о відстані до перепони.
  - Світлове оснащення (для гарної видимості БПЛА в усіх умовах і для відлякування птахів)



Рисунок 3.4 Парашутна установка на квадрокоптері

7) Програма і зв'язок

Оператор повинен відслідковувати в реальному часі зображення з тепловізора і відеозображення. Безпілотний літальний апарат, завдяки тепловізору, в автоматичному режимі може сповіщати о підозрілому витіку тепла з місця аварії і передавати координати аварії. Сповіщення буде спрацьовувати, коли на площі зображення тепловізора різко з'являтиметься велике скупчення «гарячих» пікселей. Завдяки таким програмам як MissionPlanner оператор може відслідковувати положення, задавати план польоту, проводити налаштування БПЛА і отримувати його дані. Також є мапа лінії електропередач України, яку можна скоординувати з картою MissionPlanner.

8) Додаткові елементи, які можна впровадити в майбутньому

- Для прибирання з ЛЕП сміття на БПЛА можна встановити вогнемет.

- На БПЛА мультикоптерного типу можна встановити бездротову підзарядку, а зарядки встановити на дахах будівель або на опорах ЛЕП, які в свою чергу, будуть живитись від сонячних батарей.
- Додатково можна проводити внутрішні роботи енергоаудиту. Для таких випадків повинен бути зв'язок з замовником. На БПЛА потрібно встановити мікрофон з динаміком, щоб спілкуватися.



Рисунок 3.5 Октакоптер з вогнеметом, що прибирає сміття з лінії електропередач

Висновки по технічним характеристикам безпілотного літального апарату в енергоаудиті і електроаудиті такі:

Для використання БПЛА в міській місцевості:

- Час польоту від 3 годин
- Радіус дії від 25км
- Швидкість від 50 км/год
- Вертикальний зліт і посадка
- Обов'язкова парашутна установка

- Обов'язкові датчики відстані по периметру дрона
- Телеметрія і зв'язок з оператором
- Онлайн зв'язок з тепловізором і камерою
- Вібро- і гіростабілізатор для тепловізора і камери
- Світлове оснащення

Для використання БПЛА поза містом (для перевірок лінійних об'єктів):

- Час польоту від 5 годин
- Радіус дії від 200 км
- Швидкість від 70 км/год
- Обов'язкова парашутна установка
- Телеметрія і зв'язок з оператором
- Онлайн зв'язок з тепловізором і камерою
- Вібро- і гіростабілізатор для тепловізора і камери
- Світлове оснащення

### **3.3 Наземна станція управління**

Наземна станція управління повинна в себе включати:

- Джойстик або пульт управління БПЛА
- Антени
- Комп'ютер
- 2 або більше дисплеїв (один для даних з телеметрії БПЛА, другий для тепловізора і відеокамери)
- Фіксація і запис всіх даних телеметрії, тепловізора і відеокамери.

### **3.4 Висоти**

Найвищі опори лінії електропередач в Україні розташовані на берега Дніпра, а саме в таких містах як Київ, Дніпро і Запоріжжя. Висота таких опор ЛЕП становить 180 метрів, а відстань між ними, іноди, доходить до 1,5 кілометрів.

Для чіткої деталізації зображення з тепловізора безпілотної літачки і для безпеки польоту над лініями електропередач, висота між БПЛА і ПЛІ витримується в межах 25-100 метрів.

Тому для перевірок ліній електропередач в Україні дрон має забезпечувати висоту польоту 300 метрів мінімум.

Найвищою будівлею в Україні являється житловий комплекс «Кловський узвіз 7». ЖК розташований в Києві і його висота становить 168 метрів з яких 47 житлових поверхів і 18 поверхів бізнес-центру.

Тому для перевірок на витік тепла з будівель, в Україні, безпілотної літачки повинен забезпечувати висоту польоту 180 метрів.

Дозволяється підніматися до 50 метрів над статичними перешкодами на горизонтальній відстані не більше 100 метрів від цих перешкод. Поза містом (селом) для перевірок ліній електропередач і тепломагістралей дроном, не потрібен дозвіл на проведення польоту. Для перевірок в місцях, де є скупчення людей на відкритому просторі, потрібен дозвіл на політ.

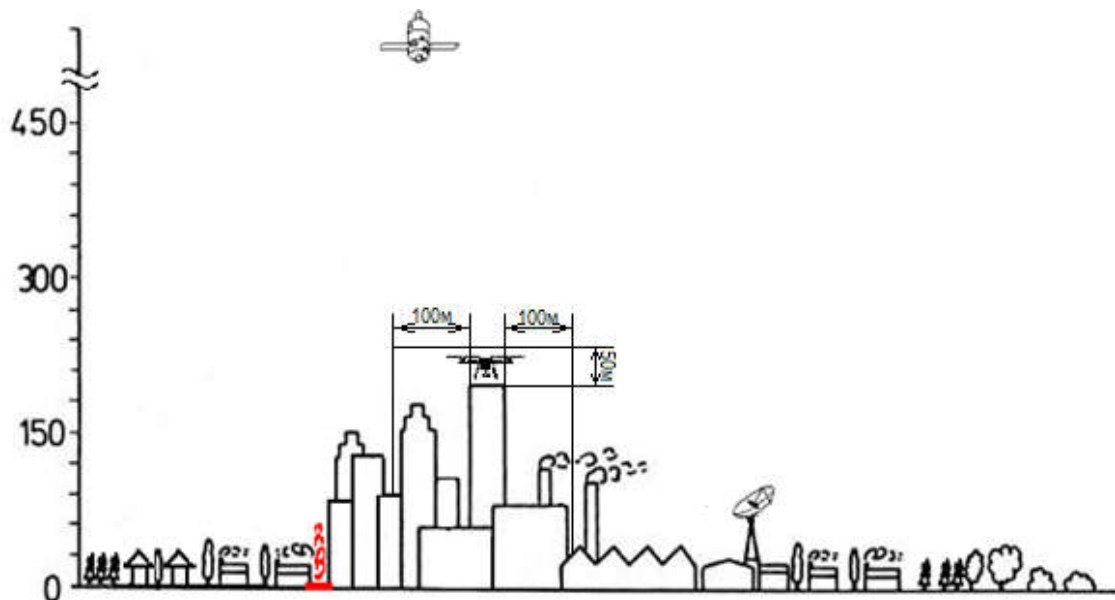


Рисунок 3.6 схема висот польоту перешкод

### 3.5 Мапи і заборонені зони

Зони в яких заборонено здійснювати польоти на 18 січня 2020 рік. Вони можуть змінюватися, тому потрібно перед кожним вилітом перевіряти зони

заборон використання повітряного простору. Перевіряти можна на сайті державна авіаційна служба України: Головна > БЕЗПЛОТНІ ПОВІТРЯНІ СУДНА > Зони заборон та обмежень використання повітряного простору.

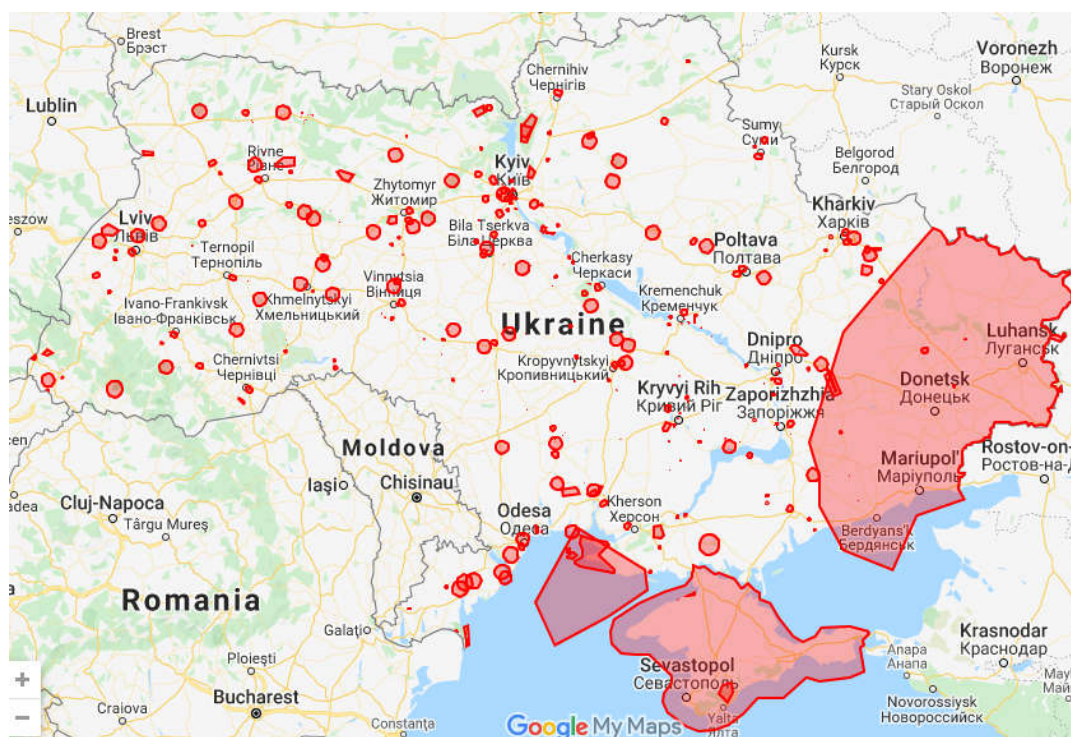


Рисунок 3.7 Зони заборон та обмежень використання повітряного простору.

В програмі MissionPlannerтакож оновлюється карта з забороненими зонами для польоту.

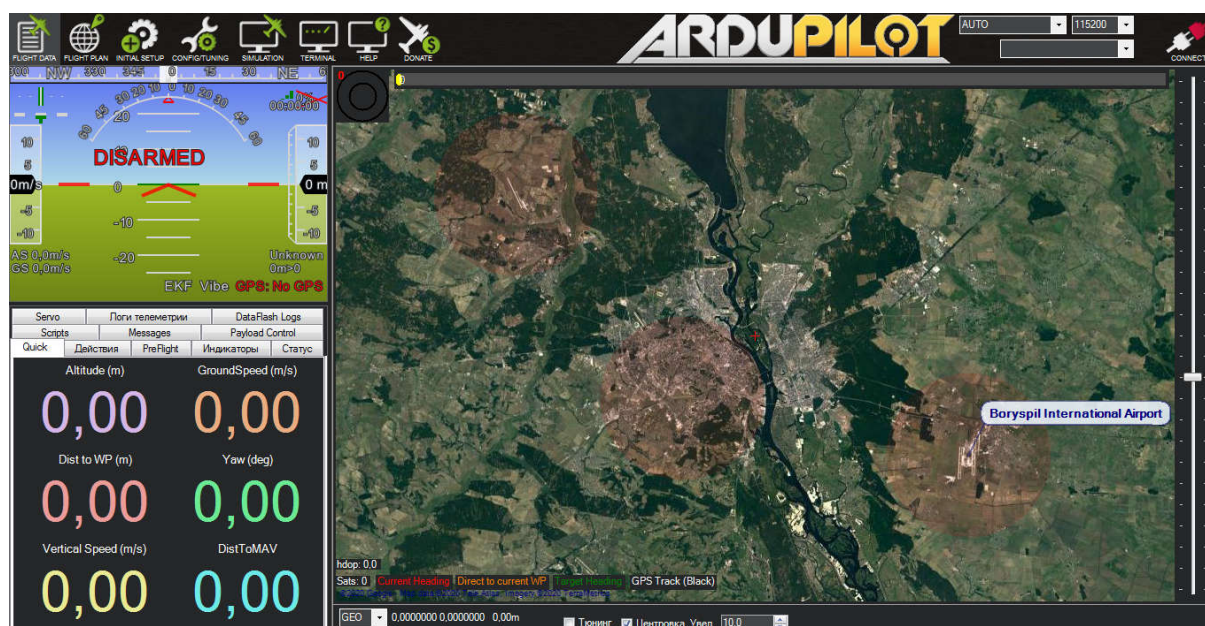


Рисунок 3.8 Карта програми MissionPlanner

Але МР показує тільки зони аеропортів, тому потрібно цю карту скооригувати з картою авіаційної служби України, де вказуються всі заборонені зони польоту України.

Для перевірок ліній електропередач доцільно використовувати карту Укренерго, де вказанні всі ЛЕП, підстанції і об'єкти генерації.

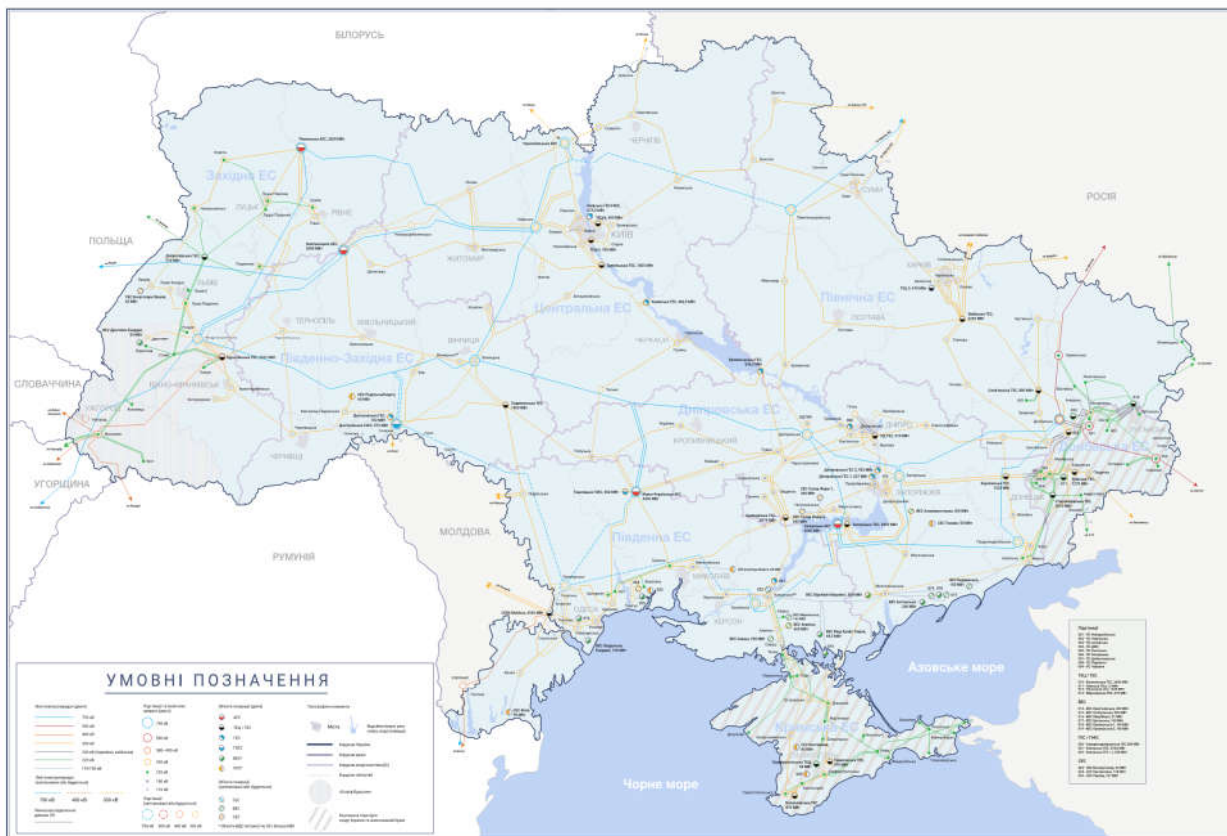


Рисунок 3.9 Карта Укренерго

Тому для перевірки електроаудиту необхідно карти Укренерго і авіаційної служби України з'єднати в одну.

### 3.6 Інфографіка щодо дозвільного порядку використання повітряного простору

Інфографіка про дозвіл використання повітряного простору наведена на рисунку 3.10.



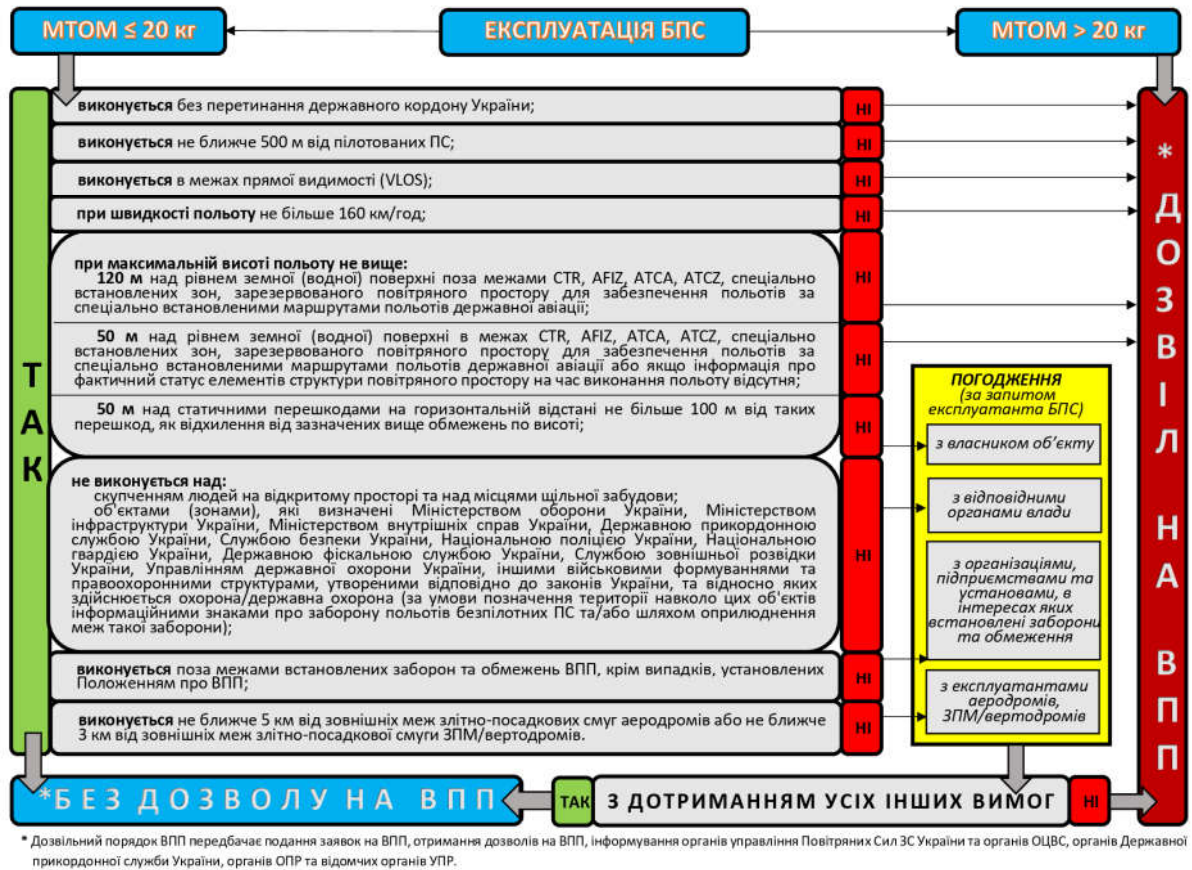


Рисунок 3.10 порядок дозвільного використання повітряного простору

### 3.7 Порядок отримання дозволу на використання повітряного простору

У випадку необхідності подання заявки та отримання дозволу на використання повітряного простору, що передбачено Авіаційними правилами України «Правила використання повітряного простору України», експлуатантам безпілотних повітряних суден необхідно [13]:

- зареєструватись у базі даних Украероцентру;
- після підтвердження реєстрації надати до Украероцентру заявку на використання повітряного простору у форматі RUN у відповідності до Додатку 3 до цих Правил. Украероцентром опрацьовуються заявки на використання повітряного простору тільки від користувачів повітряного простору, які зареєстровані в базі даних Украероцентру;
- додати до заявки на використання повітряного простору копії дозволів/погоджень (за необхідності).

Після подання заявки на використання повітряного простору користувачі повітряного простору отримують електронного листа з інформацією щодо включення заявки до плану використання повітряного простору, що являється дозволом на використання повітряного простору, або про заборону використання повітряного простору із вказаною причиною заборони. [13]

### **3.8 Загальні рекомендації по експлуатації безпілотних повітряних суден**

Дистанційні пілоти мають бути ознайомлені з відповідними національними нормами з питань безпеки, конфіденційності, захисту інформації, страхування, охорони навколишнього середовища та пам'ятати про відповідальність за здійснення кожного польоту. [14]

Перед початком роботи дистанційний пілот має [14]:

- перебувати у такому фізичному та психічному стані, який би забезпечував безпечну експлуатацію безпілотних повітряних суден (далі – БПС), не мати захворювань і травм, які зумовлюють тимчасову або постійну втрату працездатності, та таких, що можуть призвести до раптової неможливості управляти БПС;
- бути ознайомленим з інструкцією користувача БПС;
- отримати оновлену інформацію щодо передбачуваної експлуатації БПС, будь-яких обмежень використання повітряного простору та умов польоту;
- ознайомитися з зоною польотів БПС та перевірити умови, які можуть вплинути на політ БПС, зокрема місцезнаходження людей, майна, транспортних засобів, доріг, перешкод, аеродромів та будь-яких інших елементів, для яких експлуатація БПС може створити загрозу; перевірити сумісність погодних умов на момент початку експлуатації та очікуваних погодних умов за весь період експлуатації, визначеними в інструкції виробника;

- перевірити умови освітлення та потенційні джерела електромагнітної енергії, які можуть спричинити небажані ефекти, зокрема електромагнітні перешкоди або фізичні пошкодження обладнання БПС;
- переконатись, що БПС придатне до польотів для безпечного виконання передбачуваного польоту і що його маса, включаючи корисне навантаження та інші обмеження, не перевищують встановлені виробником норми або обмеження та відповідають інструкції виробника;
- переконатись в оновленні даних геоінформування (при наявності такої функції);
- переконатись, що БПС має достатню рухову енергію для запланованої експлуатації і на випадок непередбачуваних ситуацій.

Під час польоту дистанційному пілоту необхідно [14]:

- забезпечити безпечну експлуатацію БПС щодо третіх осіб на землі та в повітрі шляхом підтримання БПС на безпечній відстані від осіб, тварин, майна, транспортних засобів, аеродромів та користувачів повітряного простору;
- уникати маневрів, які загрожують безпечній експлуатації БПС та припинити політ у разі виникнення небезпеки для третіх осіб;
- керувати БПС у межах обмежень, встановлених інструкціями виробника;
- проводити постійне ретельне спостереження за повітряним простором навколо БПС для відстеження інших повітряних суден з метою забезпечення безпеки польотів;
- одночасно керувати лише одним БПС;
- дотримуватися встановлених заборон та обмежень використання повітряного простору;
- не використовувати БПС для скидання будь-яких предметів або перевезення небезпечних вантажів, зброї, вибухових речовин і пристроїв, інших предметів, що можуть використовуватися для здійснення акту незаконного втручання, за винятком предметів і речовин, що

використовуються у сільськогосподарській, садівничо-лісовій діяльності та перевезення цих предметів не суперечить вимогам законодавства;

- не здійснювати польоти поблизу або усередині районів, де здійснюється розслідування авіаційних подій або ліквідація наслідків з надзвичайних ситуацій, крім випадків наявності відповідних повноважень.

### **Висновки до розділу 3**

Для польоту на БПЛА потрібно дотримуватися умов використання повітряного простору. Потрібно дотримуватися висот і оминати заборонені зони. Заборонені зони і правила використання БПЛА завжди оновлюються і перед кожним влітом потрібно їх перевіряти на сайті Украероцентрі, що є доступними для кожного.

## Розділ 4.АЛГОРИТМИ ВИКОНАННЯ ЕНЕРГО- І ЕЛЕКТРОАУДИТУ ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА

### 4.1 Перевірка будівель на витік тепла

Для обстеження будівлі тепловізором потрібно дотримуватися ряду умов. Першим і найважливішим є наявність різниці температури повітря на вулиці і всередині будинку в межах  $15^{\circ}\text{C}$  - таким чином, краще перевіряти будівлю на предмет теплових витоків в холодну пору року. [3]

Крім того, потрібно підібрати день з певними погодними умовами - на стіни і дах будівлі не повинні потрапляти прямі або ж відбиті промені сонячного світла, також виключені сильний вітер чи опади. Існують і певні обмеження щодо ряду моделей тепловізорів, що не дозволяють використовувати обладнання в сильний мороз. [3]

Якщо виникла необхідність дослідити будівлю в теплу пору року, то в цьому випадку потрібно забезпечити різницю температур в будинку і на вулиці з використанням теплової гармати або кондиціонера в режимі обігріву. Всі приміщення будинку повинні опалюватися перед повіркою з використанням тепловізора протягом не менше двох діб, щоб встигли прогрітися стіни будинку. [3]

Всередині будинку потрібно буде зробити наступне[3]:

- ✓ звільнити від сторонніх предметів підвіконня;
- ✓ забезпечити пряму видимість плінтусів, прилеглих до зовнішніх стін;
- ✓ аналогічно усунути перешкоди для прямої видимості кутів приміщень, які межують з зовнішніми стінами будівлі.

Після проведення обстеження тепловізором будинку результати зйомки обробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке поставляється разом з пристроєм. Програма може дати експертну оцінку знімкам, проводячи аналіз отриманих показників. Крім цього, можна перенести отримані результати в програми для обробки статистичних даних,

якими є [3]:

- табличні програми;
- спеціальні пакети інженерних програм (MATHLAB).

Також по фото в інфрачервоному спектрі можна візуально дати оцінку показників. Деякі об'єкти, особливо великих розмірів, проходиться обстежити довгий час протягом декількох годин. [3]

## 4.2 Перевірка тепломагістралей

Застарілі лінії тепломережі дуже часто виходять з ладу. Це призводить до матеріальних втрат на відновлення та незручності для громадян. Додатковим ускладнюючим фактором є те, що відстані від котелен до споживачів досягають декількох кілометрів. За рахунок цього фіксація місця аварії тепломагістралі дуже часто відбувається із великою затримкою в часі, оскільки подача гарячої води не припиняється, але руйнується інфраструктура міста. [3]

На рис. 4.1 добре видно ділянки пошкодження теплотрас – вони відображені у вигляді плям білого кольору, оскільки мають найвищу температуру серед інших ділянок, які потрапили у поле зору тепловізійної камери. [3]

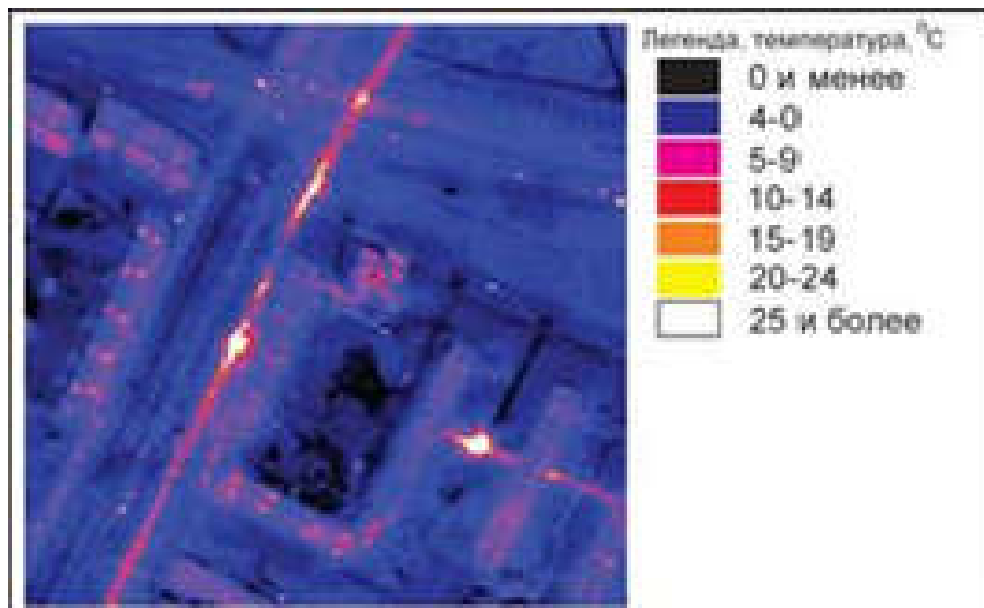


Рисунок 4.1 Приклад теплової карти теплових мереж, отриманої з бортового тепловізора.

Звісно, що при обранні вищої висоти польоту БПЛА з тепловізором дозволяє охопити більшу площу для спостереження, але це викликає додаткові вимоги: необхідність застосування тепловізійного приладу з більшим порогом чутливості; ускладнення програмного забезпечення для опрацювання отриманого зображення та необхідність узгодження висоти польоту БПЛА з органами ОПР при польоті БПЛА на висотах контрольованого повітряного простору. [3]

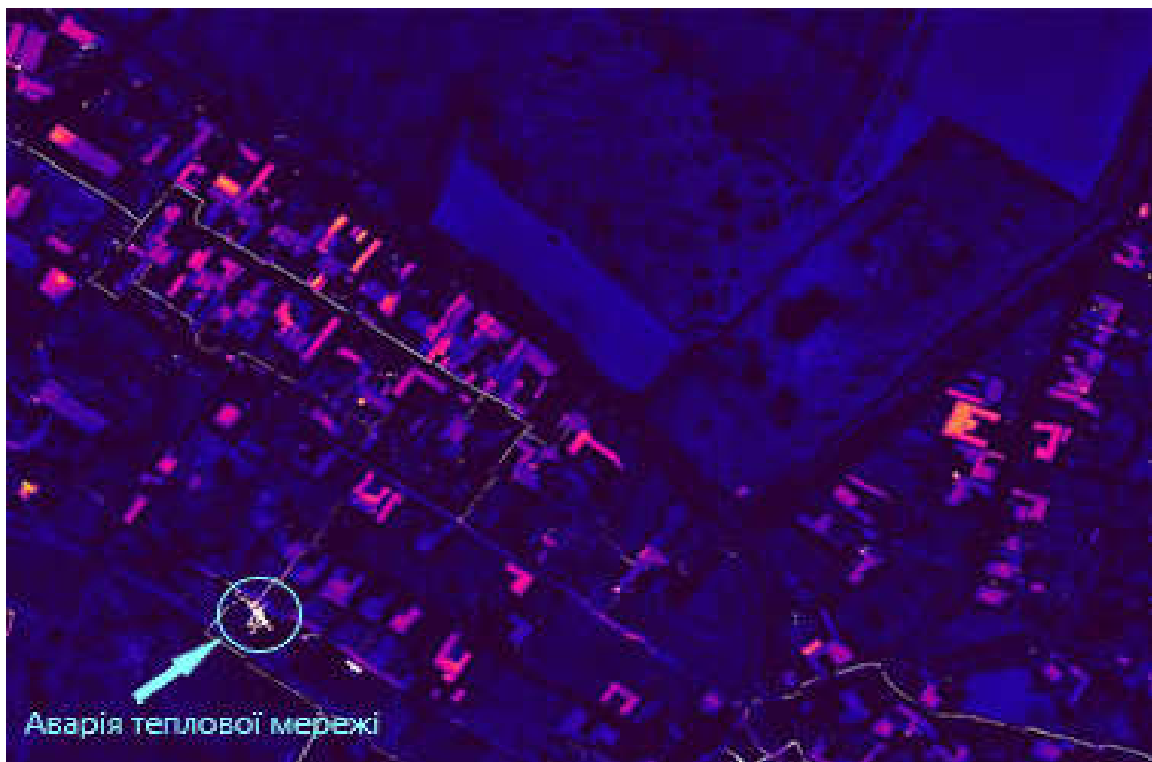


Рисунок 4.2 Тепловий знімок ділянки міської забудови з більших висот.

### 4.3 Перевірка ліній електропередач:

Перегріті ділянки ЛЕП в основному з'являються через:

- пошкодження ізоляторів і їх кріплень, пошкодження самих проводів.
- збільшення електричного опору з'єднань і розгалужень лінії.

Приклади тепловізійного обстеження ЛЕП з БПЛА на рисунку 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.

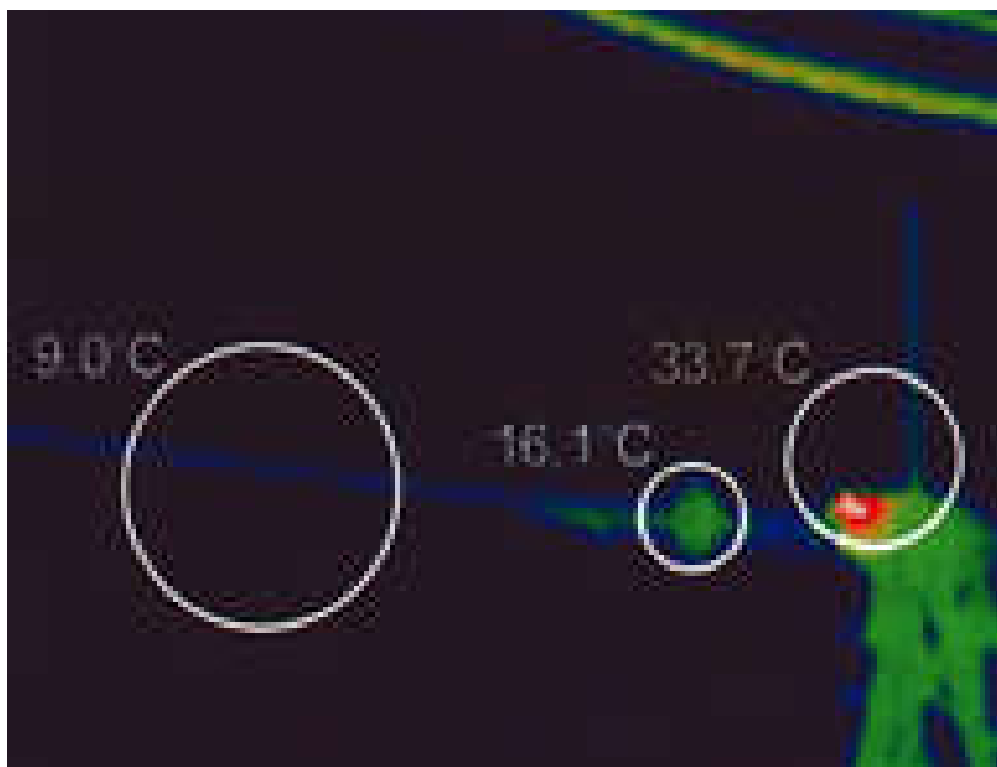


Рисунок 4.3 Нагрівання болтового з'єднання ПЛ - 330 кВ в місці кріплення грозозахисного троса до порталу (із-зі пробитого ізолятора)

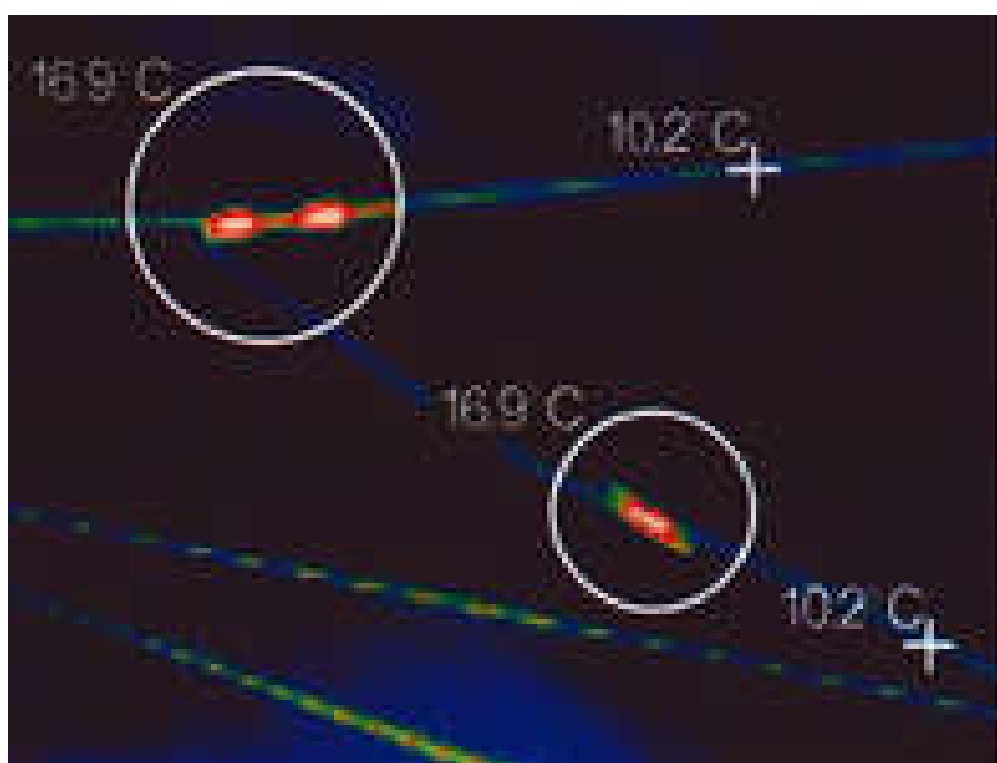


Рисунок 4.4 Дефекти болтового і пресованого контактного з'єднання на ПЛ-110 кВ



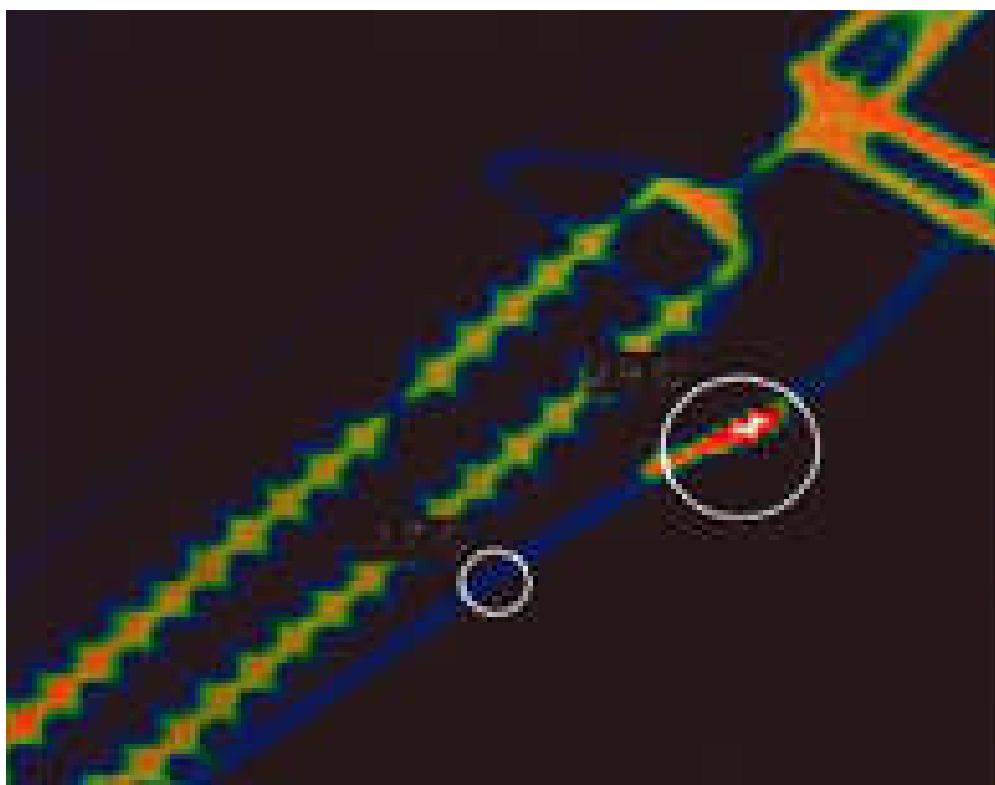


Рисунок 4.5 Дефект болтового контактного з'єднання на обвідному шлейфі ПЛ-330 кВ

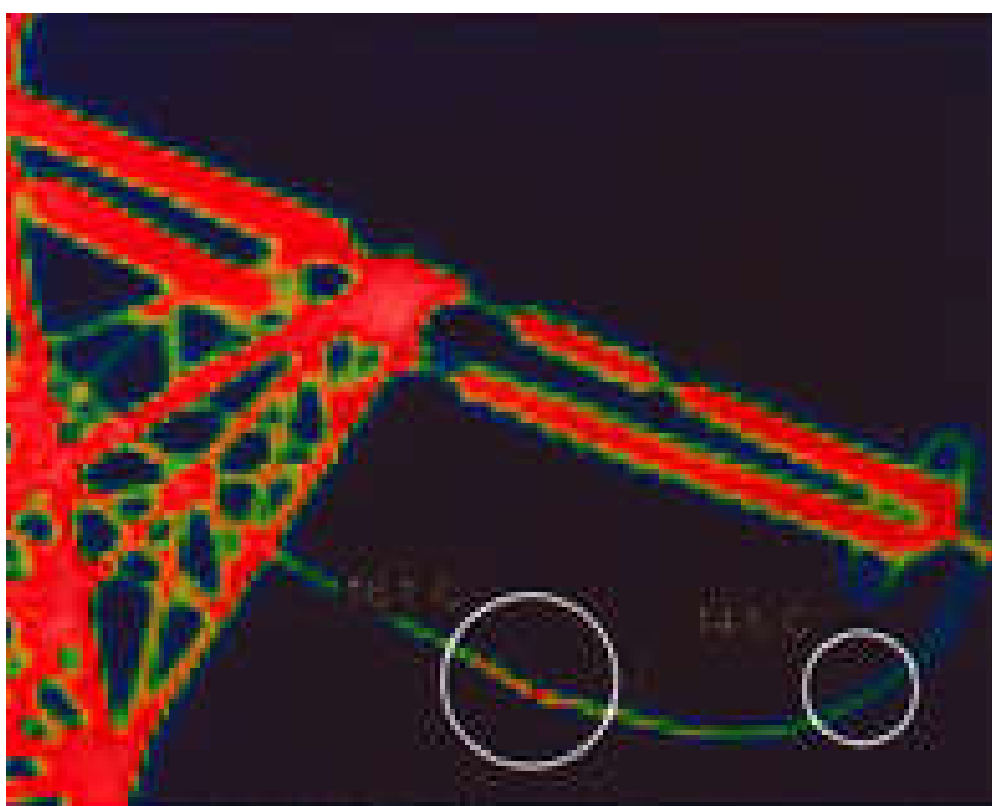


Рисунок 4.6 Дефект контактної з'єднання, виконаного зварюванням на обвідному шлейфі ПЛ-330 кВ

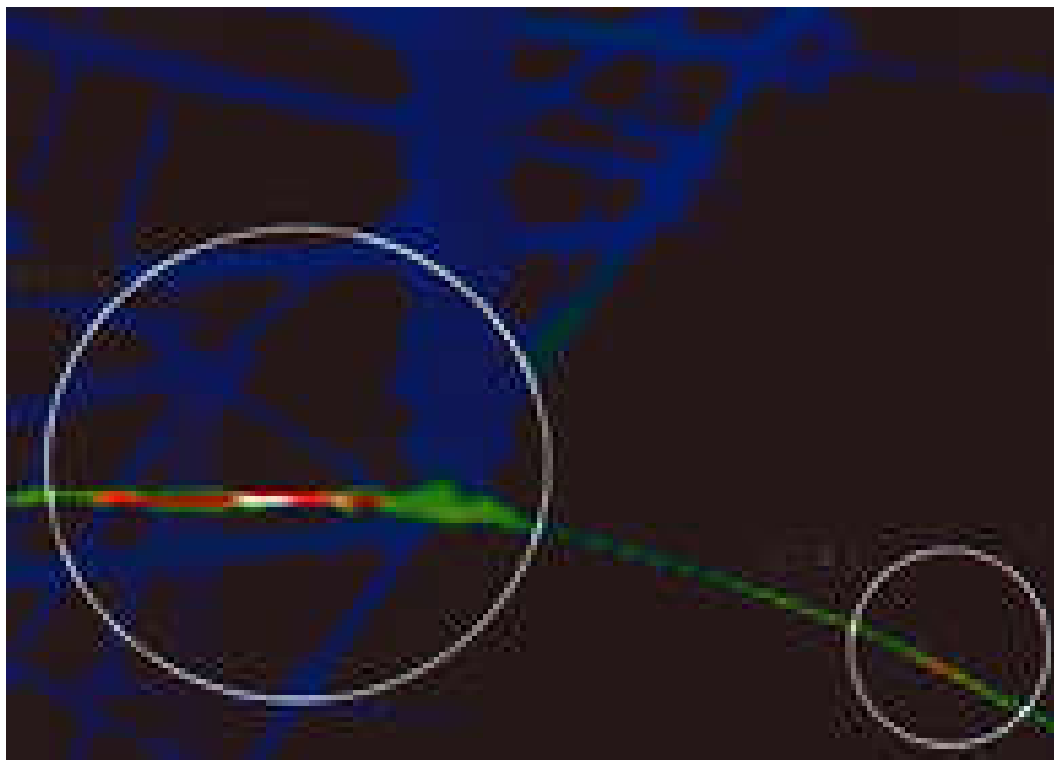


Рисунок 4.7 Нагрівання проводу ПЛ-220 кВ через злам окремих дротів доти поблизу підтримує затиску на обвідному шлейфі анкерної опори

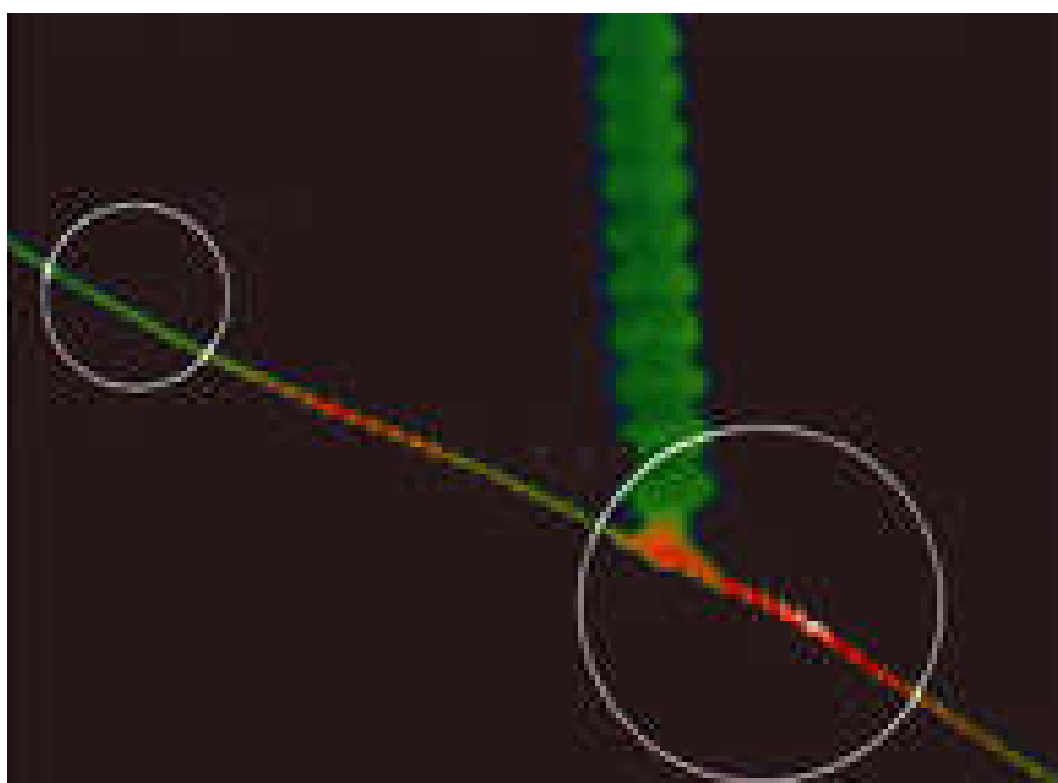


Рисунок 4.8 Нагрівання проводу ПЛ-220 кВнз через злам окремих дротів доти поблизу підтримує затиску на проміжній опорі

Своєчасне виявлення несправностей в ЛЕП дозволить мінімізувати ризик аварійних ситуацій в періоди пікових навантажень і складних погодних умов:

- підвищеної вологості,
- сильного вітру,
- обмерзання.

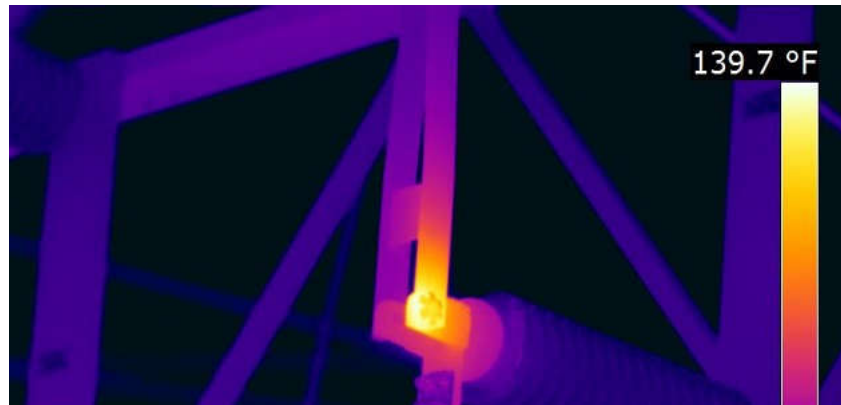


Рисунок 4.9 Перегрузка конструкції анкерної опори ЛЕП

Срок обслуговування при відхиленні температури такий [15]:

- перегрів до 5°C означає нормальний контакт;
- 5°C ... 35°C - контакт підлягає обслуговуванню при плановому ремонті;
- 35°C ... 85°C - контакт підлягає обслуговуванню при поточному ремонті;
- більш 85°C – необхідний позаплановий ремонт контакту в термін не більше 3-х місяців.

Також можна виявити незаконне підключення до ЛЕП.



Рисунок 4.10 Крадіжка електроенергії з ЛЕП

#### 4.4 Перевірка трансформаторів:

Причини перегріву трансформатора можуть бути такими:

- робота з перевищенням розрахункової навантаження,
- міжвіткове замикання в обмотці,
- низький рівень охолоджуючого масла,
- старіння масла (погіршення властивостей тепловіддачі),
- низька ефективність системи охолодження.

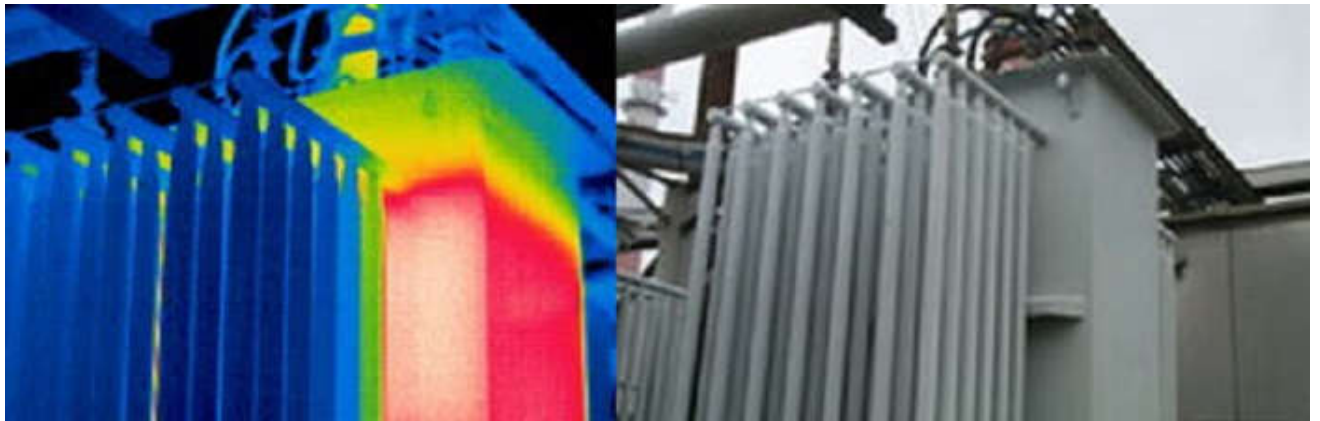


Рисунок 4.11 Перегрів трансформатора із-за старіння масла

Трансформаторне масло, яке знаходиться всередині конструкції, має ефективно забирати тепло від обмоток трансформатора і передавати його на корпус, а вже потім розсіюватися в навколишнє середовище. [16]

Масло з часом втрачає свої властивості, утворюється осад. [16]

У цьому випадку значно погіршується тепловіддача, трансформатор перегрівається і виходить з ладу. [16]

Таку ж картину ми зможемо побачити, якщо рівень масла нижче норми. [16]

Проведення тепловізійного контролю трансформатора дає можливість виявити несправність на ранній стадії і запропонувати її усунути до того, як агрегат вийде з ладу. [16]

Звичайно, це не скасовує весь перелік обов'язкових перевірок, які потрібно проводити. [16]

Відмінність тільки в тому, що обстеження за допомогою тепловізора можна проводити на працюючому трансформаторі. [16]

## 4.5 План маршруту

В програмі MissionPlanner задаємо план польоту для обстеження тепломагістралі, ЛЕП або перевірок втрати тепла з будівель. Попередньо потрібно зробити перевірку на безпечні зони польоту. План польоту складається з точок. Кожній точці ставиться команди такі, як посадка, зліт, політ по колу і т.д. Також виставляється хар-ки польоту: швидкість, висота, положення БПЛА, положення камери і т.п. Висота повинна забезпечувати відстань між ІЧ камерою і проводами ЛП або трубами тепломагістралі необхідну для чіткої візуалізації аварії, яка в залежності від моделі застосованого тепловізійного приладу знаходиться в межах 25-100м. Швидкість безпілотного літального апарату, поза містами, вздовж траси тепломагістралі або ЛЕП повинна становити від 70 до 110км/год. В містах бажана швидкість від 50 до 80км/год. При перевірці анкерних опор рекомендована швидкість 50-70км/год. Такі умови визначаються правилами безпеки польоті та потрібною деталізацією дефектів. Після складання ПП потрібно зберегти і завантажити його в автопілот БПЛА.

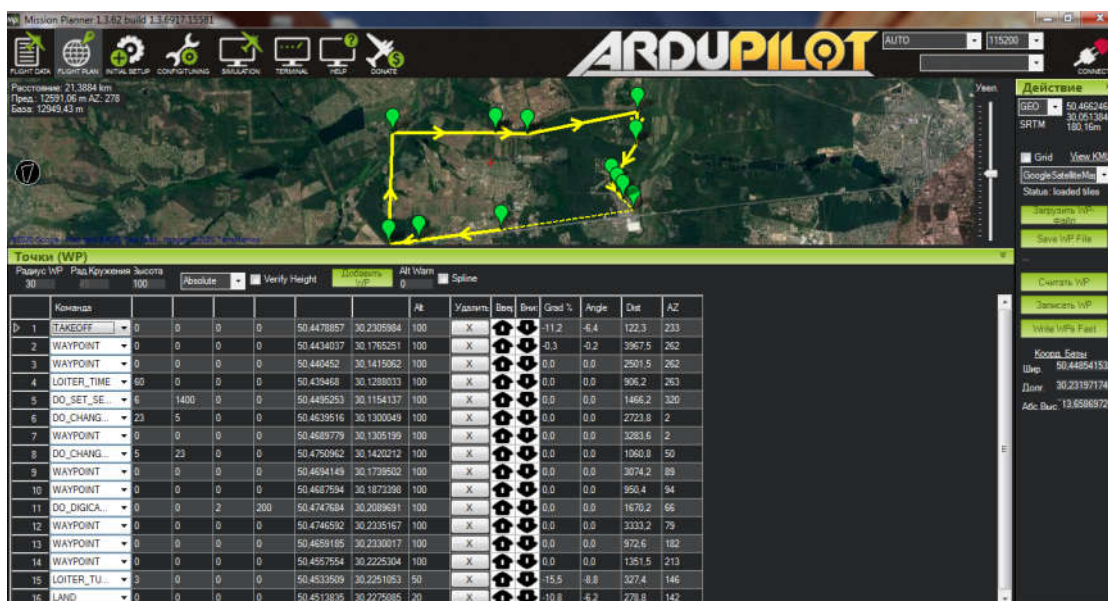


Рисунок 4.12 Приклад складання плану польоту в MissionPlanner

#### 4.6 Алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації аварії тепломагістралі або лінії електропередач на базі БПЛА

Згідно із завданням дослідження було розроблено алгоритм функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації аварії на базі БПЛА [17]. Блок схема алгоритму наведена на рис.. Нижче наведено призначення операцій наведених в схемі на рис 4.13:

- 1 – узгодження плану польоту з контролюючими органами;
- 2 – перед польотна перевірка бортового та наземного обладнання комплексу;
- 3 – перевірка працездатності модуля тепловізійного пристрою;
- 4 – зліт БПЛА та досягнення заданого висотного діапазону;
- 5 – переміщення в сектор патрулювання;
- 6 – початок обльоту заданої території;
- 7 – сканування території бортовим тепловізійним пристроєм, пошук аварії;
- 8 – перевірка наявності факту аварії:
  - 1 – якщо факт аварії підтверджено – перехід до блоку 9;
  - 0 – факт аварії не підтверджено – перехід до блоку 7
- 9 – підпрограма визначення координат місця аварії;
- 10 – підпрограма обчислення площі аварії;
- 11 – передавання повідомлення про аварію тепломагістралі диспетчеру тепломережі с фіксацією : координат аварій, часу аварії та її площі;
- 12 – перевірка необхідно рівня заряду акумуляторної батареї :
  - 1 – якщо заряд АКБ достатній – продовження місії;
  - 0 – якщо заряд АКБ не достатній – завершення режиму патрулювання та виконання дій 14 блоку;
- 13 – перевірка наявності сигналу RPI на позаштатне припинення місії:
  - 1 – сигнал на позаштатне припинення місії отримано – завершення режиму патрулювання та виконання дій 14 блоку

0 – сигнал на позаштатне припинення місії не отримано – продовження місії;

14 – повернення БПЛА з тепловізійним модулем на точку зльоту або у в точку вказану RPIL.

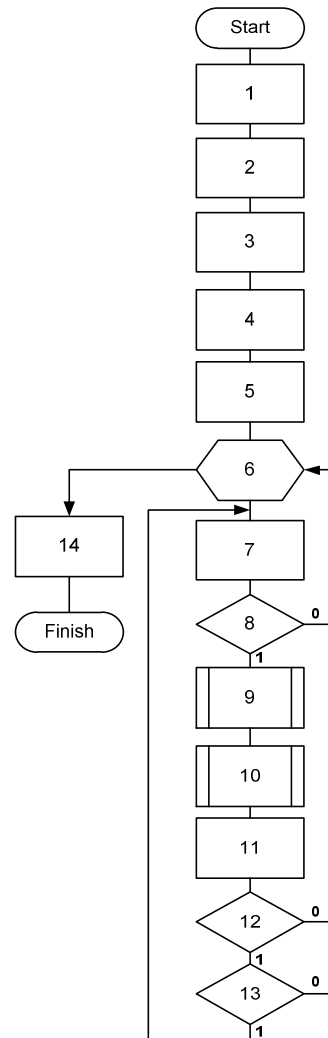


Рисунок 4.13 Блок схема алгоритму функціонування оперативного комплексу ранньої фіксації аварії тепломагістралі або лінії електропередач на базі БПЛА [17]

#### 4.7 Розробка методу визначення координат місця аварії

Взаємне положення систем координат  $Ox_1x_2x_3$  і  $O\xi_1\xi_2\xi_3$  (з нормальної у зв'язану систему координат) мають спільний початок в точці  $O$ , може бути повністю охарактеризовано трьома кутами:  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  [17].

Нормальна система координат  $Ox_gy_gz_g$  використовується для опису просторового положення літака відносно поверхні Землі (рис.10). Початок

координат цієї системи збігається з початком зв'язаної системи координат. Ось  $Oy_g$  завжди спрямована вгору по місцевої вертикалі, а напрямком осей  $Ox_g$  і  $Oz_g$  вибирається відповідно до розв'язуваного завдання, при цьому площина  $x_gOz_g$  завжди розташована горизонтально. Кут між віссю  $Ox_g$  і проекцією осі  $Ox$  на горизонтальну площину  $x_gOz_g$  називають кутом ристання. Кут між поздовжньою віссю  $Ox$  і горизонтальною площиною  $x_gOz_g$  називається кутом тангажа. Кут між поперечною віссю  $Oz$  і горизонтальною площиною  $x_gOz_g$  називається кутом крену.

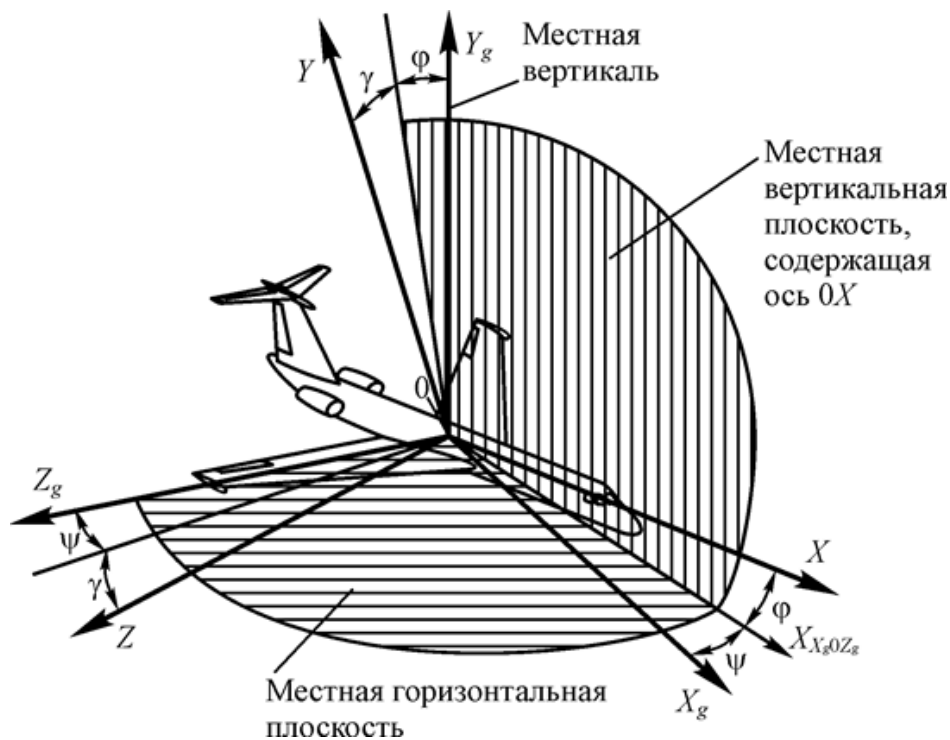


Рисунок 4.14 – Нормальна система координат

Якщо координати точки  $P$  в обох системах координат представити у вигляді матриць–стовпців:

$$\|\bar{x}\| = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, \quad \|\xi\| = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

то формули переліку координат з однієї системи в іншу в формі матричного добутку матимуть вигляд [17]:

$$\|\bar{x}\| = \|A^{x\xi}\|^T * \|\xi\| = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}\xi_1 & a_{12}\xi_2 & a_{13}\xi_3 \\ a_{21}\xi_1 & a_{22}\xi_2 & a_{23}\xi_3 \\ a_{31}\xi_1 & a_{32}\xi_2 & a_{33}\xi_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$



де

$$\|A^{x\xi}\| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \quad (3)$$

є матрицею напрямних косинусів, елементи  $a_{ij}$  якої визначаються за допомогою відомих кутів  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ . Індекс  $x\xi$  означає, що матриця здійснює перехід від системи координат  $O\xi_1\xi_2\xi_3$  до системи  $Ox_1x_2x_3$ .  $\|A^{x\xi}\|$  транспонована матриця

$$\|A^{x\xi}\|^T = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}^T = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix} = \|A^{x\xi}\| \quad (4)$$

служить для переходу від системи  $Ox_1x_2x_3$  до системи  $O\xi_1\xi_2\xi_3$ . Скласти матрицю  $\|A^{x\xi}\|$  тобто визначити її елементи  $a_{ij}$  можна за допомогою послідовності перемноження трьох елементарних матриць повороту  $\|\varphi_1\|, \|\varphi_2\|, \|\varphi_3\|$  кожна з яких відповідає повороту системи координат на один з кутів  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  навколо певної осі. Перемноження матриць виконується за формулами [17]:

$$\begin{aligned} \|A\| * \|B\| &= \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} + a_{13}b_{31} & a_{11}b_{12} + a_{12}b_{22} + a_{13}b_{32} & a_{11}b_{13} + a_{12}b_{23} + a_{13}b_{33} \\ a_{21}b_{11} + a_{22}b_{21} + a_{23}b_{31} & a_{21}b_{12} + a_{22}b_{22} + a_{23}b_{32} & a_{21}b_{13} + a_{22}b_{23} + a_{23}b_{33} \\ a_{31}b_{11} + a_{32}b_{21} + a_{33}b_{31} & a_{31}b_{12} + a_{32}b_{22} + a_{33}b_{32} & a_{31}b_{13} + a_{32}b_{23} + a_{33}b_{33} \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

Перший поворот системи  $Ox_1x_2x_3$  здійснюється навколо осі  $O\xi_3$  на кут  $\varphi_3$ . Другий поворот здійснюється навколо осі на кут  $\varphi_2$ . Нове положення осей позначимо двома штрихами. І, нарешті, третій поворот проводиться навколо осі на кут  $\varphi_1$ .

Очевидно, що осі збігаються з шуканим кінцевим положенням системи координат  $Ox_1x_2x_3$ .

Звідки матриця [18]:

На рис. 11 наведено спрощене графічне представлення для пояснення методу визначення координат об'єкту [17].

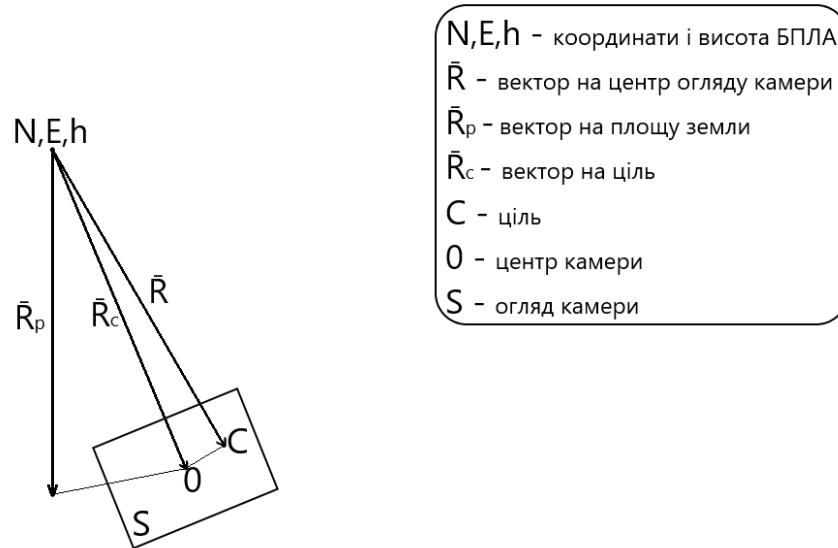


Рисунок 4.15 – Визначення координат наземного об'єкту з борта БПЛА.

Введемо позначення для векторів, які наведені на рис 4.14:

$R_c$  - вектор напрямку на виявлену ціль в нерухомій системі координат з центром, що збігається з центром мас ЛА.

$W_{\text{кам}}$  - матриця орієнтації бортової відеокамери щодо зв'язаної системи координат.

$W_{\text{ла}}$  - матриця орієнтації літального апарату відносно нерухомої системи координат.

У межах поля зору камери  $\square_{\Gamma}$ ,  $\square_{\text{в}}$  з роздільною здатністю  $L_{\Gamma} \times L_{\text{в}}$  пікселів введемо матрицю орієнтації  $R_c$  щодо оптичної осі камери -  $W_{\Gamma}$ .

Таким чином, вектор  $R_c$  послідовно піддається дії матриць повороту:

Облік зміщення об'єкта відносно оптичної осі відеокамери:

Облік повороту камери відносно поздовжньої осі ЛА:

$$R_2 = R_1 * W_{\text{кам}},$$

Облік кутовий орієнтації ЛА відносно нерухомої системи координат:

$$R_3 = R_2 * W_{\text{ла}}.$$

Послідовне виконання перетворень  $W_{\text{г}}$ ,  $W_{\text{кам}}$ ,  $W_{\text{ла}}$  дозволяє визначити координати виявленого об'єкту з прямокутного трикутника з вершиною в центрі мас ЛА з координатами  $[N, E, H]$  і діагоналю в вигляді вектора  $R_c$  [17]:

$$N_{\text{об}} = N + N_{\text{об}}, E_{\text{об}} = E + E_{\text{об}}.$$

#### 4.8 Алгоритм визначення координат місця аварії

З урахуванням математичного забезпечення викладеного вище, визначення координат об'єкту виконують за допомогою реалізації чотирьох паралельних обчислювальних процесів [18]:

1. Обробка відеопотоку і виявлення відносних координат (pixels) об'єкта (щодо оптичної осі відеокамери)
2. Прийом складових вектора стану БПЛА і обчислення матриці орієнтації БПЛА.
3. Обчислення матриці повороту  $R_1$  зміщення об'єкта відносно оптичної осі відеокамери.
4. Обчислення координат об'єкту  $R_c$  дією матриць повороту  $R_3$ ,  $R_2$ ,  $R_1$  на координати БПЛА  $(N, E, H)$ .

Алгоритм у вигляді блок-схеми наведено на рис 4.16.

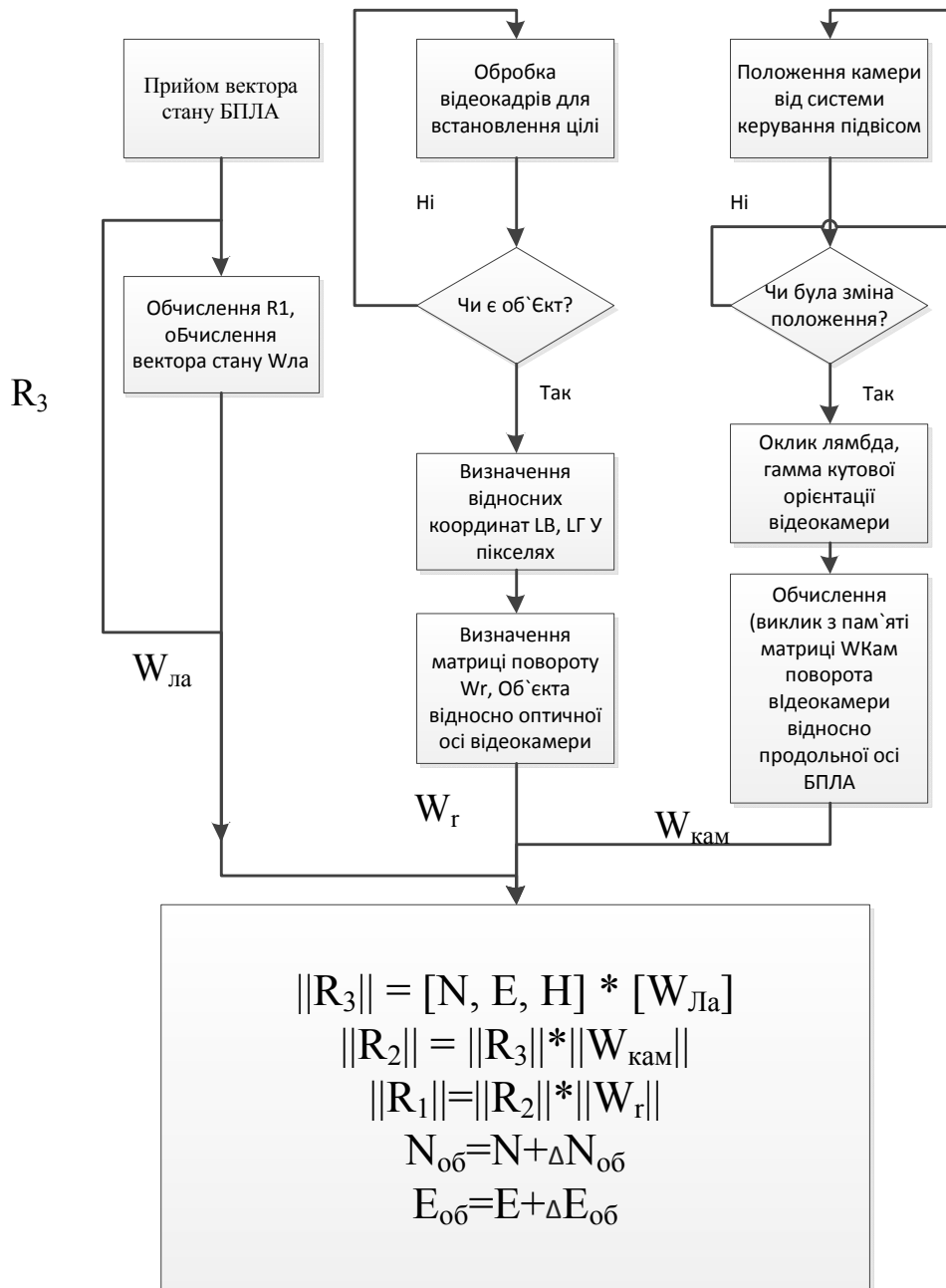


Рисунок 4.16 – Алгоритм визначення координат місця аварії тепломережі

#### 4.9 Алгоритм визначення площі аварії тепломагістралі

Робота даного алгоритма буде залежати від даних тепловізійної картини та даних навігаційної системи БПЛА. Запропоновано надійний та швидкий алгоритм обчислення площі аварії тепломагістралі і ліній електропередач. При розробці алгоритма не ставиться завдання отримати максимально точне значення обчисленої площі теплоносія, оскільки цей процес є досить динамічним і змінюється досить швидко. Тому можна використати спрощену

методологію, яка базується на цифровій картинці, яку отримують з тепловізора.

Коротко опишемо роботу алгоритма. Першим кроком алгоритма їде обчислення масштабу картинки, при цьому потрібно щоб висота польоту БПЛА була незмінною, тобто  $h = \text{const}$ . Така умова необхідна, по-перше с точки зору безпеки польотів, а по-друге для спрощення завдання обчислення площі ураженої ділянки. Якщо ми маємо  $h = \text{const}$ , то можна одразу обчислити ту одиницю площі патрульованої території, яка відображається в одній одиниці цифрової відеоінформації – пікселі. Тобто ставиться завдання масштабування одного пікселя, яке залежить від відстані тепловізійного приладу від поверхні землі. При цьому безперечно слід враховувати чутливість тепловізора, оскільки вона відрізняється в пристроях різних класів та виробників. Чутливість конкретної моделі тепловізора, яка наведена у специфікації на прилад, можна врахувати в вигляді коефіцієнта, який заздалегідь записують в пам'ять обчислювального блока тепловізійного модуля.

Далі робота алгоритма їде у режим пошуку. При знаходженні групи пікселів, кольорова картина яких відповідає температурі теплоносія, тобто буде мати максимально наближений до білого колір, алгоритм починає підрахунок таких пікселів. Після закінчення підрахунку підпрограма виконує множення суми пікселів на масштаб площі одного пікселя, після чого обчислена площа аварійної ділянки транслюється разом із даними про її координати у диспетчерську службу. Блок-схема алгоритма визначення площі аварії (рис.4.17) та короткий опис його компонент наведено нижче.

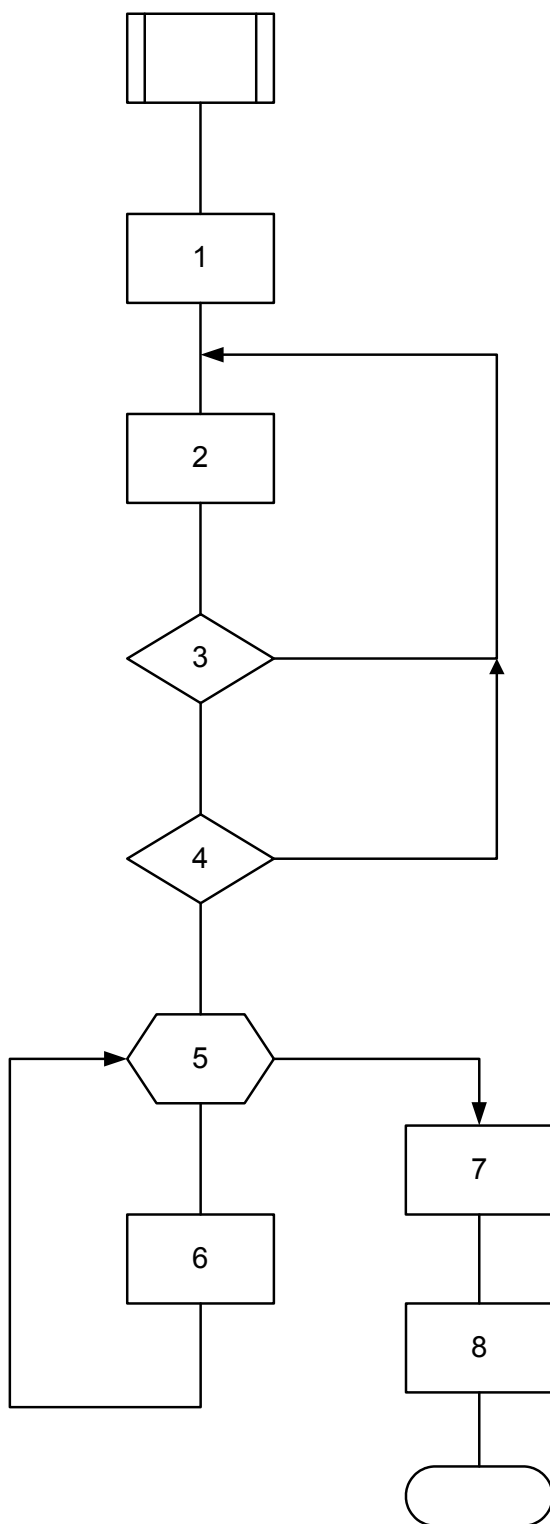


Рисунок 4.17 – Алгоритм визначення площі аварії

Блок-схема містить такі структурні одиниці:

- 1 – зчитування даних про висоту польоту та обрахунок площі, яку відображено в одному пікселі;
- 2 – сканування території бортовим тепловізійним пристроєм;
- 3 – знайдено пікселі, колір яких відповідає кольору аварійної ділянки:
  - 1 – факт аварії підтверджено – перехід до блоку 4;
  - 0 – аварію не зафіксовано – повернення до блоку 1.
- 4 – кількість пікселів перевищує величину похибки тепловізійного пристрою (залежить від коефіцієнта чутливості тепловізора) :
  - 1 – перехід до блоку 5;
  - 0 – повернення до блоку 1.
- 5 – початок циклу підсумовування кількості ідентифікованих пікселів;
- 6 – підсумовування тих пікселів, які ідентифіковані як такі, що відображають аварійну ділянку, після підсумовування – перехід до блоку 7;
- 7 – виконання операції множення суми “аварійних” пікселів на нормовану площу одного пікселя;
- 8 – передавання даних про обчислену площу аварійної ділянки для формування інформаційного повідомлення в диспетчерську службу (разом із координатами аварії).

#### **4.10 Економічний розрахунок**

Для виконання технологічного процесу авіазйомки потрібно забезпечити такий склад мобільних безпілотних авіа комплексів (МБАК): безпілотний літальний апарат (БЛА), наземна апаратура для виконання запуску та контролю БЛА, засіб транспортування БЛА з пункту базування МБАК у район виконання авіазйомки (обладнаний вантажний автомобіль), операторів у складі двох осіб. На автомобілі розташовані допоміжні технічні засоби та запасні частини для БПЛА, пально-мастильні матеріали чи комплект акумуляторних батарей, що заряджаються від автомобіля.

Для визначення собівартості виконання авіазйомки із застосуванням МБАК будуть включені середньостатистичні витрати пов'язані з експлуатацією вантажного автомобіля.

Згідно витрати транспортного підприємства можуть бути згруповані за такими статтями та елементами витрат (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Групування витрат згідно Методичних рекомендацій з формування собівартості перевезень (робіт, послуг) на транспорті

Статті витрат		Елементи витрат	
1	Прямі матеріальні витрати	1	Матеріальні витрати
2	Прямі витрати на оплату праці	2	Витрати на оплату праці
3	Інші прямі витрати	3	Відрахування на соціальні заходи
4	Загальновиробничі витрати	4	Амортизація основних фондів і нематеріальних активів
		5	Інші операційні витрати

До статті калькуляції "Прямі матеріальні витрати" включається вартість усіх видів пально-мастильних матеріалів (ПММ) та інших (включаючи транспортно-заготівельні витрати), що використані як безпосередньо на виконання перевезень (робіт, послуг), так і на технологічні операції в процесі підготовки рухомого складу до експлуатації (заряд акумуляторних батарей БЛА), а також витрати ПММ на допоміжно-службовий, учбово-тренувальний та невиробничий нальоти годин. [19]

Для розрахунку витрат за даною статтею необхідно визначити витрати ПММ на годину виробничого нальоту БПЛА згідно технічних вимог та льотних випробувань, коефіцієнт невиробничих витрат палива та ціни на ПММ:



$$E_{\text{ПММ}} = (1 + K_{\text{нвр}}) g C_{\text{ПММ}},$$

де  $E_{\text{ПММ}}$  – прямі матеріальні витрати, грош. од./год.;

$g$  - витрати палива на годину виробничого польоту БПЛА, кг/год.;

$K_{\text{нвр}}$  – коефіцієнт невиробничих витрати палива на час виробничого нальоту;

$C_{\text{ПММ}}$  – ціна палива.

Орієнтовні витрати на 1 годину роботи вантажного автомобіля «Мерседес Спринт», згідно даних по експлуатації вантажних автомобілів [20], становить 2,8 долл. США., в перерахунку на 1 год. виробничого нальоту БПЛА маємо приблизно 30 долл. США/год.

Приклад розрахунків наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Розрахунок прямих матеріальних витрат

Тип БПЛА, орієнтовна вартість	Літаковий, М-10 «Око 2» (\$28000)	Літаковий, М-6-3 «Жайвір» (\$44500)
Витрати палива на час виробничого нальоту згідно ТТД двигуна БЛА (кг/год.)	-	1,1
Додаткові невиробничі витрати палива на час виробничого нальоту (% від виробничого нальоту)	-	10
Вид палива	--	А-95
Ціна палива (\$/кг)	--	1,01
Всього вартість пального за льотну годину (\$/год.)	--	1,21

Вартість обслуговуючої автомобіля	30,0	30,0
Усього витрат	30,0	31,21

До статті калькуляції "Прямі витрати на оплату праці" включаються всі витрати на виплату основної і додаткової заробітної плати працівникам, безпосередньо зайнятим здійсненням авіазйомки, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з діючими в університеті системами оплати праці, включаючи будь-які види грошових і матеріальних доплат. [19]

Згідно викладених правил, пропонується розраховувати витрати на оплату праці інженерів із застосування авіації в галузях економіки (операторів), що приходяться на годину виробничого нальоту БПЛА таким чином:

$$E_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{\text{зи}} t_{\text{сп}} + \sum_{i=1}^n D_i \Phi_{\text{рн}}}{t_{\text{сп}}}$$

де  $E_{\text{пр}}$  - прямі витрати на оплату праці, грош. од./год.;

$i$  – номер оператора,  $i = \overline{1..n}$ ;

$H_{\text{зи}}$  - погодинна ставка оплати  $i$ -го оператора за одиницю виконаної роботи, грош. од./год.;

$D_i$  - посадовий оклад  $i$ -го оператора, грош. од./год.;

$\Phi_{\text{рн}}$  - фонд робочого часу, год./рік;

$t_{\text{сп}}$  - запланований виробничий наліт БЛА, год./рік.

Розрахунки по таких вихідних даних:  $n = 2$ ,  $H_{\text{зм}} = 2,0$  \$/год.,  $D_1 = 0,8$  \$/год.,  $\Phi_{\text{м}} = 1958$  год./рік,  $t_{\text{сп}} = 100$  год./рік, показали, що прямі витрати на оплату праці для типів БЛА, наведених в табл. 4.2, склали 55,33 \$/год.

До статті калькуляції "Інші прямі витрати" включаються:

1. Відрахування від витрат на оплату праці працівників, безпосередньо зайнятих здійсненням авіазйомки, а саме:

- внески до Пенсійного фонду, які становлять 22,0 % від суми фактичних витрат на оплату праці працівників,

Отже, для приклада, що розглядається, сума відрахувань від витрат на оплату праці працівників становитиме 12,17 \$/год. для кожного типа БЛА.

2. Суми амортизаційних відрахувань від вартості основних засобів МБАК, що нараховані згідно з порядком, нормами та умовами, встановленими чинним законодавством України.

Для розрахунку розглянемо прямолінійний та податковий методи нарахування амортизації.

За прямолінійним методом річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів:

$$A = C_a / T,$$

$$C_a = C_{\text{п}} - L,$$

де  $A$  – річна сума амортизаційних відрахувань, грош.од.;

$C_a$  – вартість, яка амортизується, грош.од.;

$C_{\text{п}}$  – початкова вартість основного засобу, грош.од.;

$L$  - ліквідаційна вартість об'єкту, грош.од.;

$T$  - очікуваний строк корисного використання об'єкта, років.

Університет застосовує норми і методи нарахування амортизації основних засобів, передбачені податковим законодавством.

Для цілей амортизації у відповідності до Закону «Про оподаткування прибутку підприємств» визначаємо до якої групи відносяться основні фонди (а саме БПЛА) університету. Згідно даного Закону та Державного класифікатора України «Класифікація основних фондів ДК 013-97» від 19.08.97 р., №507, БПЛА та інші повітряні судна відносяться до 3 групи основних фондів.

Згідно з унесеними змінами до Закону України «Про оподаткування прибутку підприємств» від 01.07.04 р. № 1957-IV (розд. «Перехідні положення»), Законом України «Про оподаткування прибутку підприємств» від 28.12.94 р. № 334/94-ВР квартальні норми амортизації основних фондів 3 групи становлять 6 % від балансової вартості основних фондів .

Однак, у бухгалтерському обліку на відміну від податкового принципу нарахування амортизації здійснюється не в цілому по групі об'єктів основних засобів, а окремо по кожному об'єкту.

Результати розрахунків викладено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Розрахунки амортизації на перший рік експлуатації МБАК  
(При розрахунковому об'ємі - 100 годин нальоту на кожний БЛА)

Тип БПЛА, орієнтовна вартість	Т	за прямолінійним методом		за нормами податкового законодавства	
		Річна норма амортиза ції	А/100 год. нальоту, \$/год.	Норма амортизації (за квартал)	А/100 год. нальоту, \$/год.
літаковий, М-10 «Око 2», (\$ 28000)	2	50,00%	125,0	6,00%	67,2
літаковий,	3	33,33%	120,0	6,00%	106,8

М-6-3 «Жайвір» (\$445 00)					
---------------------------------	--	--	--	--	--

3. Витрати на всі види ремонту, технічний огляд і технічне обслуговування парку МБАК.

Технічне обслуговування БПЛА («Око 2) включає заміну елементів живлення (8500 грн. на рік) і виготовлення карт: сітки горизонталей для місцевості знімають за допомогою SRTM - матеріалу про висоту поверхні Землі, отриманого із супутника. Виходячи із трудомісткості процесу картографічної прив'язки до місцевості, одна така операція коштує в межах 150-250 грн. і виконується один раз для кожного поля, а потім зберігається в базі даних.



Рисунок 4.18 Безпілотний літак М-10 (Око - 2)

Згідно статистичних даних, рекомендується для планових розрахунків враховувати витрати на ремонт та технічне обслуговування БЛА в розмірі біля 10% від амортизаційних відрахувань.

До статті калькуляції "Загальновиробничі витрати" включаються:

витрати пов'язані з управлінням та обслуговуванням виробничого процесу, які не передбачені в попередніх статтях. У університеті загальновиробничі витрати на утримання апарату управління виробництвом, оплату службових відряджень, технічне та інформаційне забезпечення

управління виробництвом складають 15% від прямих витрат; витрати на компенсацію оплата комунальних послуг та енергоносіїв та складають 5,3% від загальної вартості;

Розглянемо витрати, пов'язані з виплатою передбачених законодавством:

- збір на страхування ризиків:

страхування авіаційного КАСКО – 40% від собівартості;

страхування авіаційної відповідальності перед третіми особами – 2000,0 грн. для кожного БЛА.

Окремо ПДВ -20% від загальної вартості.

В табл.4.4 наведені результати розрахунків планової собівартості льотної години виконання авіаційної роботи із застосуванням МБАК.

Таблиця 4.4

Результати розрахунків собівартості аерознімання, дол. США/год.

(100 годин нальоту на кожний БЛА)

Тип БЛА в МБАК	Прямі матеріальні витрати	Прямі витрати на оплату праці	Інші прямі витрати	Загальновиробничі витрати	ПДВ	Усього по МБАК
літаковий, М-10 «Око 2»	30,0	55,33	90,1	204,57	76,0	456,0
літаковий, М-6-3 «Жайвір»	31,21	55,33	130,3	305,16	104,4	626,4

#### Висновки до розділу 4

Використання БПЛА при перевірці лінійних об'єктів таких, як лінії електропередач або тепломагістралі, з алгоритмом визначення координат місця аварії спрощує перевірку і знаходження аварії. Це дозволяє дронам літати в автоматичному режимі і робота оператора спрощується. Робота оператора в таких умовах це передача зафіксованих координат аварії в потрібні служби, перевірка стану БПЛА, і в надзвичайні ситуації екстрена посадка або розкриття парашуту. З економічного погляду використання БПЛА для аерозйомок в енерго- і електроаудиті є досить вигідним. Обслуговування безпілотного літального апарату є значно дешевшим ніж ТО на літаку чи вертольоті. Така установка може окупитися менше ніж через рік.

## ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В даній науковій роботі було запропоновано та розроблено структуру, математичне та алгоритмічне забезпечення комплексу оперативної фіксації координат аварії тепломагістралі і ЛЕП на базі БПЛА.

В ході виконання роботи було розглянуто загальний стан проблеми, що дозволило стверджувати про необхідність використання даних навігаційної системи БПЛА з модулем корисного навантаження у вигляді тепловізійного бортового пристрою для реалізації можливості визначення координат аварії тепломагістралі.

Для виконання поставлених завдань розроблено метод та алгоритм визначення місця аварії тепломагістралі, в якому на основі даних тепловізійної картини фрагменту контрольованої території виконують ідентифікацію аварійної зони, яка представлена у вигляді групи пікселів максимально світлого кольору, границі якої встановлюють шляхом обчислення, з урахуванням навігаційних даних від ІНС БПЛА.

В результаті виконання роботи запропоновано комплекс фіксації координат аварії тепломагістралі, який має низьку собівартість, є високо мобільним та просто реалізованим з використанням стандартних компонентів, які є доступними на сучасному ринку ІТ товарів.

Було розраховано собівартість аерознімання з БПЛА. За приклад було взято безпілотний літак М-10 (Око - 2). З урахуванням оплати праці працівників, амортизаційних відрахувань, витрати на всі види ремонту і



технічне обслуговування, збір на страхування ризиків, витрати палива машини для доставки БПЛА, вийшло 456\$ за 100 годин польоту. Одна година аерознімання (без тепловізора) на вертольоті обходиться від 1500\$.

Алгоритми, що розроблені в даній роботі, роблять обстеження тепломагістралей і ліній електропередач автономними, і дозволяють попередити аварії в майбутньому, які призводять до великих матеріальних втрат і незручностей для громадян. Такий комплекс перевірок є значно вигіднішим, швидшим і безпечнішим за всі інші типи обстеження тепломагістралей і ліній електропередач.

### Основні джерела

- 1- РУСГЕОКОМ Геодезичне обладнання і безпілотні апарати:  
<https://www.rusgeocom.ru/bespilotnyie-sistemyi>
- 2- СОВЗОНД Геоінформаційна системи а аерокосмічний моніторинг:[https://sovzond.ru/services/aerophotography/aerofoto\\_bppla/](https://sovzond.ru/services/aerophotography/aerofoto_bppla/)
- 3- Коробко В.В. Енергоаудит за допомогою БПЛА / В.В. Коробко, В.Ю. Ларін / Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: тези доповідей науково-технічної конференції, 21-23 листоп. – К. : НАУ, 2018. – С.14
- 4- Коробко В.В., Руденко В.С., Ларін В.Ю. Аудит стану ЛЕП за допомогою БПС / Проблеми аеронавігації, електроніки та телекомунікацій / тези доповідей науково-технічної конференції, 20-22 листоп. – К.: НАУ, 2019 – С. 16
- 5- Матійчик М.П. / Ергодизайн безпілотних повітряних суден / Монографічне видання / М.П. Матічик, А.Л. Рубцов, В.О. Свірко, В.П. Харченко, М.І Фузік – Київ: УкрНДІ ДЕ, 2019. – 192с
- 6- Вікіпедія – вільна енциклопедія:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний\\_літальний\\_апарат#Класифікація](https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат#Класифікація)
- 7- Алексей Бойко, RoboTrends – області застосування безпілотників:  
<http://robotrends.ru/robotrends/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>
- 8- ГОРИЗОНТ, Аерофотозйомка: <http://drone-port.ru/monitoring-lehp-bppla>
- 9- Матійчик М.П. М338 Організація і технологія авіаційних аерофотозйомочних робіт: Курс лекцій. – К.: НАУ, 2009 – 127 с.

- 10-** В.К. Барбасов («ЗЙОМКА З ПОВІТРЯ»):  
<https://russiandrone.ru/publications/vozmozhnosti-primeneniya-bespilotnykh-aviatsionnykh-sistem-dlya-monitoringa-vozdushnykh-lep/>
- 11-** Геодезія, геологія, топозйомка від «ГІЛЬДІЯ ІНЖИНІРІНГ»:  
<https://geotop.com.ua/monitoring-linij-elektroperedach-s-pomoshhyu-bespilotnikov.php>
- 12-** Вікіпедія – вільна енциклопедія: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Тепловізор>
- 13-** Державна авіаційна служба України, отримання дозволу на використання повітряного простору: <https://avia.gov.ua/poryadok-podannya-zayavok-na-vikoristannya-povitryanogo-prostoru/>
- 14-** Державна авіаційна служба України, рекомендації дистанційним пілотам: <https://avia.gov.ua/zagalni-rekomendatsiyi-distantijnim-pilotam-bsp/>
- 15-** ПЕРГАМ, тепловізійна діагностика в електроенергії:  
[http://www.pergam.ua/diagnostika/teplovizionnaya\\_diagnostika\\_v\\_elektroenergetike/](http://www.pergam.ua/diagnostika/teplovizionnaya_diagnostika_v_elektroenergetike/)
- 16-** ЕНЕРГОАУДИТ, енергетичне обстеження:  
<https://energo-audit.com/teplovizionnoe-obsledovanie-oborudovaniya>
- 17-** Коробко В.В, Ларін В.Ю. Алгоритми визначення геометричних розмірів пошкоджень тепломережі за допомогою БПЛА [текст]/ В.В. Коробко, В.Ю. Ларін/ Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запоріжжя.– №2, 2020. – прийнято до друку.
- 18-** Спосіб визначення координат аварії тепломагістралі за допомогою безпілотного літака. МПК7 G01C 23/00. Заявка на патент № u201902128. Коробко В.В. Городиський К.С. Заявл. 18.02.2019.
- 19-** (Методичні рекомендації з формування собівартості перевезень (робіт, послуг) на транспорті, затвердженими наказом Міністерства транспорту України від 05.02.2001 за № 65.)
- 20-** Автомобиль на предприятии: от приобретения до ликвидации. [Ж.Семенченко, В.Кузнецов, М.Бойцова, О.Андрусь] — 10-е изд., перераб. и доп. — Х.: Фактор, 2008. — 447 с.

**Додаток 1**

Частина інформації про обстеження тепломагістралей була представлена на всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт і отримала призове місце.

