

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

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
д-р. техн. наук, проф.  
В. Ю. Ларін

«   » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«БЕЗПІЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

**Тема:**

**«Безпілотний авіаційний комплекс для ультразвукової товщинометрії»**

<b>Виконав:</b>	_____	<b>С.Ю.Оропай</b>
<b>Керівник: д-р техн. наук, проф.</b>	_____	<b>В.Ю.Ларін</b>
<b>Консультант розділу д-р техн. наук, проф.</b>	_____	<b>І.В.Остроумов</b>
<b>Консультант розділу д-р техн. наук, проф.</b>	_____	<b>Т.Ф.Шмельова</b>
<b>Нормоконтролер д-р техн. наук, проф.</b>	_____	<b>Т.Ф.Шмельова</b>

**Київ-2022**

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра аеронавігаційних систем  
Спеціальність: 272 «Авіаційний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_Ларін В.Ю.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання дипломної роботи**

Оропая Сергія Юрійовича

1. Тема дипломної роботи (проєкту): Безпілотні літальні комплекси для ультразвукової товщинометрії, затверджена наказом ректора від 20.09.2022 р. № 1594/ст.
2. Термін виконання роботи: з 05.09.2022 по 30.11.2022.
3. Вихідні дані до роботи: інформація про діяльність української компанії “Джерман Тулз Інспекшен” і використання безпілотного літального апарата Elios 2; швейцарської компанії “Voliro AG” і використання безпілотного літального апарата Voliro T; безпілотного літального апарата на базі Tarot Iron Man 680.
4. Зміст пояснювальної записки: розвиток використання безпілотних літальних апаратів в Україні; основні напрямки застосування безпілотних літальних апаратів; нормативно-правова база та державне регулювання діяльності безпілотників.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстрованого) матеріалу: зображення безпілотних літальних апаратів, ультразвукового товщиноміра, знімки здійснення ультразвукової товщинометрії завдяки використанню безпілотних літальних комплексів.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Збір інформації	06.09.22-28.09.22	виконано
2	Аналіз основних показників діяльності	29.09.22-30.09.22	виконано
3	Написання та оформлення аналітичної та теоретичної частин дипломної роботи	01.10.22-20.10.22	виконано
4	Написання та оформлення проектної частини дипломної роботи	21.10.22 - 10.11.22	виконано
5	Написання та оформлення вступу та висновків дипломної роботи	11.11.22 - 15.11.22	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки та підготовка до захисту	16.11.2022- 20.11.2022	виконано

7. Дата видачі завдання: « 05 » вересня 2022 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання

(підпис студента)

Ларін Віталій Юрійович

(П.І.Б.)

Оропай Сергій Юрійович

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: “Безпілотні літальні комплекси для ультразвукової товщинометрії”: 104 сторінок, 33 рисунки, 39 використаних джерел, 6 використаних електронних ресурсів, 1 таблиця.

Ключові слова: безпілотний літальний комплекс, безпілотний літальний апарат, ультразвукова товщинометрія.

*Об’єктом дослідження* є безпілотні літальні комплекси для ультразвукової товщинометрії.

*Предметом дослідження* є порівняння трьох БПЛА для ультразвукової товщинометрії.

*Мета дипломної роботи:* проведення аналізу існуючих БПЛА (дронів, мультикоптерів, квадрокоптерів, гексакоптерів) різних класів і типів з метою вибору оптимальних моделей БПЛА та систем управління для виконання ультразвукової товщинометрії у промисловості.

Сформульована мета передбачає виконання таких завдань:

- з’ясувати рівень дослідження БПЛА в сучасній науці;
- проаналізувати технічні характеристики БПЛА;
- схарактеризувати технології моніторингу неруйнівного контролю;
- обґрунтувати необхідні технічні характеристики пристроїв керування, які придатні до виконання ультразвукової товщинометрії;
- виділити сегмент пристроїв, які потенційно можна використовувати для ультразвукової товщинометрії.

*Методи дослідження:* описовий із прийомами наскрізного виписування та систематизація – для відбору й інтерпретації фактичного матеріалу; прийом зіставлення – для аналізу діяльності підприємства та його конкуренції на ринку надання послуг.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати на семінарських і практичних заняттях студентам технічних спеціальностей; під

час написання дипломних та магістерських робіт, а також в практичній діяльності підприємств, які виконують авіаційні роботи.

БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ, БПЛА, УЛЬТРАЗВУКОВА ТОВЩИНОМЕТРІЯ, ТОВЩИНОМІР, МОНІТОРИНГ, АЕРОНАВІГАЦІЙНІ ДАНІ.

# **АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ЛА - літальний апарат

БПЛА - безпілотний літальний апарат

БПЛК - безпілотний літальний комплекс

НЦУ - наземний центр управління

НК - неруйнівний контроль

УЗК - ультразвуковий контроль

НС - надзвичайна ситуація

ПК - повітряний корабель

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
<b>РОЗДІЛ 1 Аналіз предметної області.....</b>	<b>13</b>
1.1. Основні групи сучасних безпілотних літальних апаратів та їх інформаційно-технологічні характеристики.....	13
1.2. Основні переваги та недоліки безпілотних літальних апаратів.....	18
1.3. Перспективи виробництва і використання українських безпілотних літальних апаратів.....	19
1.4. Правово-нормативна база та державне регулювання виконання авіаційних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів.....	21
Висновки до першого розділу .....	26
<b>РОЗДІЛ 2 Ультразвукова товщинометрія як один із способів дослідження товщини і цілісності матеріалів.....</b>	<b>28</b>
2.1. Ультразвукова товщинометрія.....	28
2.2. Ультразвукові товщиноміри.....	29
2.3. Ультразвуковий метод вимірювання товщини матеріалу.....	30
2.4. Застосування безпілотних літальних апаратів у задачах неруйнівного контролю.....	32
Висновки до другого розділу.....	37
<b>РОЗДІЛ 3 Аналіз БПЛА різних типів для ультразвукової товщинометрії.....</b>	<b>39</b>
3.1. Загальна характеристика безпілотного літального апарату Elios 2 (компанія “Джерман Тулз Інспекшен”).....	39
3.2. Характеристика і можливості Voliro T.....	50
3.3. Розробка безпілотника на базі Tarot Iron Man 680 для ультразвукової товщинометрії.....	58
3.3.1. Вибір товщиноміра.....	58
3.3.2. Вибір БПЛА для виконання завдання.....	60
3.3.3. Передача результатів вимірювань.....	64



3.3.4.Конструкція дрона з товщиномірною головкою.....	65
3.4.Аналіз показників ефективності Elios 2, Voliro T, безпілотного Літального апарату на базі Tarot для ультразвукової товщинометрії.....	67
Висновки до третього розділу.....	69
<b>РОЗДІЛ 4 Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності.....</b>	<b>70</b>
4.1.Обробка аеронавігаційних даних.....	70
4.2.Вхідні дані .....	71
4.3.Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні.....	74
4.4.Інтерполяція траєкторних даних .....	75
4.5.Розрахунок параметрів траєкторії .....	78
Висновки до четвертого розділу.....	80
<b>РОЗДІЛ 5 Охорона праці та навколишнього середовища.....</b>	<b>81</b>
5.1.Інструкція з охорони праці для оператора наземних засобів керування безпілотним літальним апаратом.....	81
5.2. Вимоги охорони праці перед початком роботи.....	84
5.3.Вимоги охорони праці під час роботи.....	85
5.4. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях .....	87
5.5.Вимоги охорони праці по закінченню роботи.....	89
5.6. Інструкція з безпеки польотів .....	89
5.7. Охорона навколишнього середовища.....	91
5.7.1. Державні санітарні норми випромінювання в Україні, як заходи захисту навколишнього середовища.....	91
5.7.2. Вплив електромагнітного випромінювання на організм людини .....	92
5.7.3. Заходи щодо забезпечення екологічної безпеки.....	95
Висновки до п'ятого розділу.....	96
ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

## ВСТУП

За умов сучасної глобалізації, модерністського світобачення й світовідчуття проблеми, пов'язані з інтеграцією різних галузей, стали предметом зацікавлення для науковців. Такий процес активно і прискіпливо вивчається у багатьох галузях.

Сучасний етап розвитку науки супроводжується постійним поглибленням знань про навколишній світ та про людину, характеризується інтеграцією наук. Цей процес ставить перед науковцями нові завдання. У багатьох сучасних дослідженнях увага зосереджується на процесах використання сучасних технологій та розробок у різних сферах життя людини.

У зв'язку з цим з'являються нові підходи до застосування існуючих технологій, зокрема і безпілотних літальних апаратів. Останнім часом зростає актуальність оперативного отримання достовірної оцінки стану об'єктів за допомогою використання мобільних комплексів на базі БПЛА, як найбільш безпечного та достовірного джерела інформування, здатних оперативно передавати відповідним органам управління інформацію про моніторинг промислових об'єктів для вживання оперативних та адекватних заходів у разі загрози виникнення НС, виконувати завдання, пов'язані з ризиком для людського життя.

Залучення додаткових неспеціальних технічних ресурсів до складу інформаційних технологій сприяє не лише визначенню технічного стану об'єкта, а й ранньому виявленню скритих дефектів. Такими додатковими ресурсами, можливості та сфери застосування яких описані в дослідженнях Бабака В., Гребеникова А., Зайцева С., Башинської О., Камака Ю., Горлинського Б., Єфремова О. та ін., можуть стати сучасні БПЛА, технічні характеристики яких дають змогу паралельно до своїх специфічних завдань, здійснювати також і моніторинг стану об'єктів, без додаткових витрат на високотехнологічне обладнання.

Головною перевагою даного способу є можливість проведення вимірів без виведення об'єкта з експлуатації, а також можливість проведення контролю навіть у важкодоступних місцях, наприклад, коли важко або взагалі неможливо отримати доступ до внутрішньої сторони виробу.

Використання БПЛА у сучасному світі – неординарне явище, що перебуває в процесі вивчення, потребує належної оцінки й поглибленого опрацювання. Тому використання БпЛК для ультразвукової товщинометрії належить до кола актуальних питань, що і спонукало нас до виконання цього дослідження. Тому обрана нами тема дипломної роботи є надзвичайно актуальною, а вихідні дані дослідження важливі для розвитку авіаційної галузі.

*Об'єктом дослідження* є безпілотні літальні комплекси для ультразвукової товщинометрії.

*Предметом дослідження* є порівняння трьох БПЛА для ультразвукової товщинометрії.

*Мета дипломної роботи:* проведення аналізу існуючих БПЛА (дронів, мультикоптерів, квадрокоптерів, гексакоптерів) різних класів і типів з метою вибору оптимальних моделей БПЛА та систем управління для виконання ультразвукової товщинометрії у промисловості.

Сформульована мета передбачає виконання таких завдань:

- з'ясувати рівень дослідження БПЛА в сучасній науці;
- проаналізувати технічні характеристики БПЛА;
- схарактеризувати технології моніторингу неруйнівного контролю;
- обґрунтувати необхідні технічні характеристики пристроїв керування, які придатні до виконання ультразвукової товщинометрії;
- виділити сегмент пристроїв, які потенційно можна використовувати для ультразвукової товщинометрії;
- з'ясувати процес автоматизованої обробки даних;
- висвітлити вимоги безпеки для оператора наземних засобів керування БПЛА.

*Методи дослідження:* описовий із прийомами наскрізного виписування та систематизація – для відбору й інтерпретації фактичного матеріалу; прийом зіставлення – для аналізу діяльності підприємства та його конкуренції на ринку надання послуг.

*Розділ 1* описує теоретичні засади використання безпілотних літальних апаратів, основні напрями діяльності та державне регулювання робіт.

*Розділ 2* дипломної роботи вміщує аналіз ультразвукової товщинометрії як одного із способів моніторингу об'єктів.

*Розділ 3* описує дослідження використання БПЛА для ультразвукової товщинометрії на прикладі компаній “Джерман Тулз Інспекшен”, “Voliro AG” та БПЛА на базі Tarot.

*Розділ 4* вміщує інформацію щодо **автоматизованої обробки аеронавігаційних даних великої розмірності**, з візуалізацією траєкторних даних у програмному забезпеченні, відповідними розрахунками параметрів траєкторії.

*Розділ 5* щодо особливостей праці оператора під час керування безпілотним літальним апаратом.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в узагальненні деяких питань теорії і практики неруйнівного контролю і технічної діагностики, зокрема використання сучасних БПЛА для ультразвукової товщинометрії; аналізі показників ефективності трьох БПЛА - Elios 2, Voliro T, безпілотного літального апарату на базі Tarot для ультразвукової товщинометрії.

Практичне значення результатів дослідження. Основні положення, результати і висновки проведеного дослідження можуть бути використані у процесі підготовки майбутніх операторів БПЛА на семінарських і практичних заняттях; під час написання дипломних та магістерських робіт, а також в практичній діяльності підприємств, які виконують авіаційні роботи.

Відповідно до завдань роботи визначена її структура, яка складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаної літератури.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

#### **1.1. Основні групи сучасних безпілотних літальних апаратів та їх інформаційно-технологічні характеристики**

Сучасний комплекс безпілотних літальних апаратів є високотехнологічною системою з елементами штучного інтелекту, інтегрованою в систему збору інформації та прийняття рішень. Безпілотні літальні апарати входять до складу досить складних технічних систем – безпілотних авіаційних комплексів з наземними пунктами управління, обробки отриманої інформації, засобами зв'язку, транспортування і навантаження безпілотних літальних апаратів та їх експлуатації. Успіх їх застосування пов'язаний насамперед з бурхливим розвитком мікропроцесорної техніки, систем управління, навігації, передачі інформації, штучного інтелекту.

Досягнення в цій галузі дають можливість здійснювати політ в автоматичному режимі від зльоту до посадки, вирішувати завдання моніторингу поверхні, а безпілотні літальні апарати військового призначення забезпечувати розвідку, пошук, вибір і знищення цілі. Основна особливість безпілотних літальних апаратів – це відсутність на борту літального апарату людини, що дозволяє зменшити ризик бойових втрат висококваліфікованого льотного складу, зняти обмеження, які обумовлені перевантаженнями і впливом шкідливих факторів на людину.

Відповідно до поставлених задач, до БПЛА та пристроїв мобільного керування висуваються такі вимоги: апарат має бути швидким, маневреним, мати можливість протистояти вітру, значний радіус польоту і бути відносно недорогим, можливість повернення на точку запуску у разі втрати управління;

визначення місця знаходження по GPS; зависання на місці для фотозйомки; можливість оминати перешкоди; передача відео в реальному часі з можливістю запису на ноутбук, планшет або мобільний телефон. Сьогодні безпілотні літальні апарати можна поділити на 3 групи: міні-БПЛА, БПЛА із середнім та великим радіусом польоту.

Основні характеристики міні-БПЛА: тривалість польоту може варіюватися від 3 до 10 хв. Цей показник є надмірно коротким, однак користувач має справу з компактним і дуже зручним пристроєм. Стандартний міні-БПЛА підтримує зв'язок на відстані 40–50 м. При цьому трапляються апарати, керовані і на 20 м, і на 80 м, що для цього класу є це максимальною дальністю керування. Час зарядки може становити до 1 год, але в більшості випадків варіюється в діапазоні 30–40 хв. Суворих обмежень до габаритів для сегменту міні-БПЛА немає, тому розміри можуть дуже різнитися. Наприклад, є моделі зі зразковими параметрами 4x4x25 см, а є апарати вдвічі більші.

Щодо функціональності і можливості відеозйомки, то загалом БПЛА, є високотехнологічними пристроями, тому й набір функцій у них постійно розширюється. З останніх доповнень варто виділити наявність акселерометра і гіроскопа, кілька режимів швидкісного обертання гвинтів, осьову стабілізацію і здатність виконання 3D-тріюків. Найбільш привабливим опціоналом вважається відеокамера, за допомогою якої користувач може фіксувати «картинку», доступну для огляду самим дроном. Зрозуміло, міні-БПЛА не в змозі забезпечити високоякісне фото- і відеозображення відмінної якості, хоча певні є технічні досягнення в цьому напрямку. Сьогодні представники початкового класу забезпечуються модулями на 0,3 Мп, але в старших версіях все частіше з'являються камери на 2 Мп і більше. Також є спроби реалізувати можливість прямої трансляції, але в такому разі збільшуються і габарити БПЛА. Отже, можна зробити висновок, що функціонал міні-БПЛА не дасть змоги наразі вирішити усі задачі промислової галузі. Тому залучення таких апаратів до запропонованої ІТ є сумнівним.

Основні характеристики БПЛА середнього радіусу дії: у середньому такий безпілотний літальний апарат має довжину 25 см, а висота — 10 см. Гвинти використовуються різного діаметра. Це залежить від потужності двигуна. Також до стандартної комплектації БПЛА входять акумулятори. Залежно від їх ємності змінюється час польоту. Радіус дії пристрою в середньому становить 3000–3500 м. Приймачі використовуються як низької, так і високої частоти. Для відправки сигналу на пульт застосовується передавач. Камери моделей встановлюються на 2 і 4 Мп. Одним із популярних є Syma X5SW 95. Технічні характеристики: управління через радіоканал, дальність управління до 150 м. Акумулятор ємністю 500 мА·год дає змогу здійснювати польоти тривалістю до 5,5 хв. Вага – 1216 г. Камера зовнішня в комплекті, розширення матриці – 2 Мп, роздільна здатність відеозйомки – 720 p.

Основні характеристики БПЛА великого радіуса дії: зазвичай вони мають розбірну конструкцію, на відміну від апаратів середнього радіуса дії, та можуть бути модифіковані до потреб конкретного користувача. Їх класифікують за потужністю: моделі на 2 кВт — рама БПЛА складається із трьох стійок. Двигун встановлюється в середній частині пристрою. Передавачі для моделі застосовуються тільки 2 Гц. Рама має довжину не більше 22 см. Для стабілізації пристрою в польоті застосовується демпфер із датчиком висоти. Камера у моделі кріпитися на кронштейні. Моделі з мотором на 3 кВт. У цих дронах двигун встановлюється на підкладці. Найчастіше використовується датчик висоти конденсаторного типу. Частота роботи приймача – 3 Гц. Для стабілізації моделі в польоті використовується стабілітрон. Фюзеляж складається із пластикової рами на чотири стійки. Довжина становить близько 23 см. Висота польоту при потужності двигуна 3 кВт дорівнює не більше 12 см. Ємність акумуляторів не перевищує 200 А/год.

Зібрати БПЛА на 5 кВт з великим радіусом дії досить складно. Приймачі для них підходять тільки дротяного типу. Камера в цій моделі розташовується

під двигуном. Кронштейн для неї підбирається поворотного типу. БПЛА з великим радіусом дії і камерою FPV на три стійки зустрічаються дуже часто. Мотори для зазначених пристроїв підбираються невеликої потужності. Для стабілізації пристрою в польоті встановлюється селектор. БПЛА на чотири гвинта з камерою FPV, яка кріпиться на пластиковому корпусі. Діаметр гвинтів становить близько 33 см. Двигун використовується на 22 кВт. Гранична частота приймача не повинна перевищувати 3 Гц. До найбільш популярних моделей великого радіуса дії слід віднести: моделі Yuneec Typhoon Q500 4K, обладнані камерою 4K, тривалістю польоту 25 хвилин, дальністю керування – до 800 метрів. Система FPV надає оператору можливість в режимі реального часу переглядати зображення, які захоплює камера. До цього класу квадрокоптерів належать також дрони DJI Mavic Air, DJI Mavic Pro, DJI Mavic 2, DJI Phantom 4 Pro, DJI Phantom 4 Advanced. Усі вони обладнані камерами 4K, системами FPV, час їх польоту становить від 20 до 30 хвилин, дальність керування – від 1 до 8 км. Найпопулярніші БПЛА середнього та великого радіусу дії цілком задовольняють вимогам, які необхідні до внесення їх в запропоновану інформаційну технологію. Для визначення ефективності пропонованої інформаційної технології та необхідної кількості залучених БПЛА для надійного моніторингу. Для проведення експерименту був обраний БПЛА найпопулярнішого класу DJI Phantom 4.

Для такого роду завдань найбільш придатними є конструкції, що можуть вільно переміщатись під час польоту, вирізняються високою маневреністю, мають можливість до вертикального зльоту і посадки, висіння. Такі конструкції багатороторні.



Найбільш часто використовувані конструкції:

а) чотирироторні - квадрокоптери (рис.1.1);



*Рис. 1.1. Квадрокоптер*

б) шестироторні – гексакоптери (рис.1.2);



*Рис. 1.2. Гексакоптер*

в) Восьмироторні - октокоптери (рис.1.2);



*Рис. 1.3. Октокоптер*

БПЛА, які використовуються для перевірок у закритих просторах, піддаються зіткненням, тому їх слід належним чином закріпити з точки зору конструкції.

Проведений аналіз технічних характеристик БПЛА дав змогу встановити та обґрунтувати мінімальний набір технічних характеристик, необхідних для їх інтеграції в інші галузі. Для реалізації запропонованої технології підходять БПЛА середнього та великого класів, оскільки їх технічні характеристики, дають змогу використовувати їх для розв'язку поставлених задач [8].

Безпілотні літальні апарати і дрони, як представники сімейства безпілотних авіаційних систем, поступово стають незамінним елементом сучасного життя.

## **1.2. Основні переваги та недоліки безпілотних літальних апаратів**

Переваги безпілотних літальних апаратів такі:

- значне зниження габаритних характеристик у порівнянні із традиційними ЛА, що зменшує вартість, підвищує живучість дронів;
- можливість створення недорогих спеціалізованих БПЛА, здатних виконувати конкретні завдання;
- безпілотні апарати здатні проводити розвідку, моніторинг і передавати інформацію в режимі реального часу;
- у БПЛА немає ніяких обмежень для застосування в тяжких бойових умовах, пов'язаних з великим ризиком знищення апарата;
- висока мобільність;
- можливість створення невеликих, простих і мобільних безпілотних комплексів для неавіаційних формувань.

Серед недоліків:

- погана видимість, адже пілот на відстані не може роздивитися територію навколо дрона так добре, як пілот у кабіні.
- ненадійність. Сенсорні технології не завжди себе виправдовують. Реакція людини куди потужніша, тому БПЛА ламаються і трощаться частіше, ніж керовані пілотами літаки.
- необережність. Згідно зі статистичними даними, пілоти дронів допускають помилки частіше, ніж пілоти, наприклад, винищувачів, бо їхній безпеці нічого не загрожує [28].

### **1.3.Перспективи виробництва і використання українських безпілотних літальних апаратів**

Україна має потужну авіабудівну школу і вітчизняні кадри швидко переорієнтувалися на виробництво малих та маневрових дронів. Водночас потужним рушієм розвитку стала необхідність застосовувати інноваційні авіаційні технології для оборони нашої країни та контролю державного кордону. Відомий перший вітчизняний безпілотний комплекс «Горлиця» виробництва «Антонов», який, зокрема, може наносити засоби ураження. Практична відстань його польоту становить більше 1000 км.

Наступний приклад — військовий безпілотник «Лелека-100» оснащений сучасним навігаційним та радіоелектронним обладнанням, дозволяє виконувати аеророзвідку на великих відстанях та є майже безшумним і недосяжним для радарів.

Безпілотники вітчизняного виробництва «Spectator-M» застосовують для патрулювання кордону. Дрон оснащений сучасними камерами, які дозволяють відстежувати ділянку до 50 кілометрів на висоті до 2 тисяч метрів. Це типовий

приклад успішного українського стартапу, що перетворився у підприємство з виробництва БПЛА в Україні.

В Україні на даний час виробляється понад десять типів БПЛА, з яких п'ять є перспективними для використання у лісовому господарстві України, як недорогого і ефективного сучасного засобу для спостереження за схованими пожежонебезпечними ділянками. Виробнича фірма «Юавиа» (НАУ) виробляє три типи безпілотників: R-100, R- 400 та R-400LR, тривалість перебування яких у польоті становить від 2 до 7 год, вантажопідйомність – від 3 до 16 кг, швидкість польоту – від 45 до 400 км/год, а злітна маса – від 14 до 50 кг. Ці параметри дозволяють розмістити на ньому системи зв'язку із наземним оператором, прилад геопозиціонування та камеру з високою роздільною здатністю. Вказані БПЛА призначені для виконання спостережень у режимі реального часу за програмою чи в режимі дистанційного управління апаратом. Їх запуск здійснюється із стартової катапульты літакового типу або зі стартового майданчика розміром 10 x 50 м, а посадка – з парашутом чи на заданий стартовий майданчик. Передбачена можливість монтажу відео- та фотокамер оптичного чи інфрачервоного діапазонів.

Конструкторське бюро «Взлет» (м. Харків) виробляє БПЛА М-7 «Небесний патруль» та А-5 «Орлан», тривалість перебування яких у польоті становить від 5 до 6 год, вантажопідйомність – від 7 до 25 кг, швидкість польоту – від 123 до 192 км/год, а злітна маса – від 28 до 100 кг. БПЛА М-7 «Небесний патруль» призначений для картографії, відеоспостереження та аерофотозйомки, а А-5 «Орлан» – адаптований до умов високогір'я та великих просторів.

Всі ці факти, підтверджують що Україна крокує в темпі світових трендів розвитку безпілотної авіації, та має технологічні перспективи застосування дронів саме власного виробництва. Якщо узагальнити, цінність БПЛА полягає не стільки в самому апараті, скільки в інноваційних програмах розпізнавання і обробки даних з дронів. Саме тут зосереджена синергія співпраці авіаторів,

конструкторів, програмістів та інших фахівців. Ключовим моментом залишається оснащення дронів українським спеціалізованим програмним забезпеченням, яке дозволить ефективно опрацьовувати результати обстежень [26].

#### **1.4. Правово-нормативна база та державне регулювання виконання авіаційних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів**

Європейська агенція авіаційної безпеки (ЄААБ) оприлюднило загальні норми використання дронів, які скоро стануть обов'язковими для всіх країн-членів ЄС. Враховуючи стрімкий розвиток світової галузі безпілотників, поява таких норм була лише питанням часу. Досі безпілотні літальні апарати залишалися поза увагою законодавців, не маючи навіть чітко визначеного статусу. Розмови про необхідність регулювати стрімко зростаючу галузь приватних безпілотних літальних апаратів – більш відомих в народі як дрони – точаться в урядових структурах світу вже доволі довгий час. Особливо “гостро” проблема постала після історії, коли в минулому році безпілотні літальні апарати несподівано “атакували” територію британських аеропортів Гатвік і Хітроу, через що на добу припинилися всі польоти і аеропорти понесли багатомільйонні збитки. Кілька подібних випадків було також і в інших країнах. Після цього Європейське агентство авіаційної безпеки всерйоз взялося за дрони і нещодавно оприлюднило результати своєї роботи – один з перших в світі комплекс регулятивних актів, що на загальноєвропейському рівні встановлює правила та обмеження для приватних безпілотників. Основну частину правових норм становлять технічні вимоги, і вони торкнуться тільки деяких із рядових власників та операторів безпілотників. Зокрема, починаючи з

червня 2020-го року оператори безпілотних літаків повинні зареєструватися в країні ЄС, де вони проживають або мають основну роботу. Кожен безпілотний літальний апарат також підлягатиме реєстрації, що дозволить його відстежити у випадку необхідності.

Це допоможе запобігати випадкам, подібним тим, що сталися в британських аеропортах. Також по всьому Європейському Союзу вводяться універсальні критерії до визначення класу, безпеки та вимог до дронів. В цілому нові європейські закони дещо спростять життя рядовим власникам дронів. Раніше дрони практично жодним чином не регулювалися на міжнародному рівні. Певні документи, особливо що стосуються технічної комплектації, кожна країна так чи інакше розробляла, але тепер вони приведуть свої документи у відповідність загальним правилам. Поява універсального законодавства сильно спростить життя власникам дронів, які багато подорожують країнами Європейського Союзу, бо їм не потрібно буде в кожній окремій країні вивчати правила. Для державних структур з'явиться виклик, адже потрібно буде переглядати власні регулюючі акти, а от з точки зору приватних власників все стане простіше.

Україна, попри доволі суворе законодавство в сфері малої авіації, залишається “вольницею” для авіації безпіотної. Перші правові норми для дронів були прийняті в нашій країні лише в 2018 році. На осінь 2019 року Державіаслужба запланувала підготовку та оприлюднення проєкту загальних правил експлуатації дронів, а отже робота в цьому напрямку вже ведеться. І враховуючи курс України на євроінтеграцію та підписану угоду про асоціацію з Європейським союзом, немає сенсу будувати якісно відмінні від нещодавно оголошених Євросоюзом правила. Україна має намір увійти в спільний європейський авіаційний простір. А тому наше законодавство має повністю відповідати вимогам Європейського Союзу. Звісно, якісь свої особливі норми можуть бути, але загальні принципи мають повністю співпадати. Тому, швидше за все нові правила, які збирається опублікувати Державіаслужба, будуть

скориговані та врегульовані відповідно до нових європейських норм, щоб потім наша авіаційна галузь не мала проблем, зокрема й обмежень чи заборон на польоти. Зрештою, в Україні є час, аби придивитися до європейських правил де критерії безпеки є головними, і цілком актуальні для нас теж.

Крім встановлення технічних вимог до дронів та реєстрації їх власників, нове європейське законодавство в загальних рисах визначає, де дронам літати можна, а де – зась. Але ж ми знаємо, що там, де є заборони, завжди виникає спокуса їх обійти. Тому на випадок “недобросовісних” запусків дронів, європейці намагалися передбачили механізми захисту. Над протидією всюдисущим дронам вже давно ламають голови правоохоронні структури по всьому світу. Існують доволі екстравагантні способи – так, в Азії використовують хижих птахів, в європейських державах розробляли дронів-мисливців, озброєних сітками для вилову “порушників”. Існують також значно прозаїчніші та ефективніші засоби перешкоджання незаконним польотам дронів.

Сьогодні виробники дронів, програмуючи свої вироби і закладаючи туди карти для польотів, просто мають внести в ці карти обмеження – аеропорти та заборонені зони, і безпілотний літальний апарат фактично не зможе там літати. Таке програмне забезпечення є навіть в дронів, які керуються дистанційно, а не просто літають по заданій програмі. Недобросовісні власники, звісно, можуть зламати програмне забезпечення і зняти таке обмеження. Тому такі модифікації європейське законодавство наразі забороняє і переслідує. Однак паралельно використовуються і засоби, які стоять на заваді для польоту дронів над певною територією. На сьогоднішній день саме європейські аеропорти найбільше вкладаються в оснащення такими системами. В той час як системи фізичного знищення дронів більше популярні в східних країнах.

Хоча галузь малих безпілотних літальних апаратів сформувалася доволі недавно, загрози та виклики від їх неправомірного використання вже стали очевидними для багатьох. А тому напрацювання Європейським Союзом єдиних

правових норм її регулювання – своєчасний і закономірний крок. І до приєднання до цих норм в Україні немає жодних перешкод.

Європейська агенція з безпеки польотів докладає зусиль аби врегулювати використання дронів у спільному європейському просторі.

Більш того, міжнародна група експертів працює над розробкою стандартів для безпілотних літальних апаратів, включаючи безпечну інтеграцію малих та великих безпілотних літальних апаратів у повітряний простір та аеропорти.

Хоча Україна і не є членом цієї організації, вона, як частина міжнародного повітряного простору, зобов'язана забезпечувати умови для цивільної авіації. Більш того, як майбутній член об'єднаного європейського неба, Україна має запровадити нове законодавство у відповідності з європейськими стандартами.

Варто зазначити, що у сучасному законодавстві існує дефініція безпілотних літальних апаратів, але їх використання не є окремо врегульованим і частково описується у якості частини широкої групи цивільної та комерційної авіації, відповідно до нормативно-правового регулювання повітряного простору. В цілому, спеціальні регулятивні документи щодо польотів безпілотних літальних апаратів, сертифікації, атестації операторів, а також інтеграції у сферу управління повітряного руху, відсутні.

На даний момент безпілотні літальні апарати підпадають під регулювання наступних нормативно-правових актів:

- Повітряного кодексу України;
- Правил реєстрації цивільних повітряних суден в Україні;
- Положення про використання повітряного простору України.

Правилами польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України. «Безпілотне повітряне судно» визначається там як повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким



здійснюються за допомогою спеціальної станції керування, що розташована поза повітряним судном.

Такі безпілотні літальні апарати мають перебувати у Реєстрі цивільних повітряних суден України. Однак, безпілотні літальні апарати, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кілограмів і які використовуються для розваг та спортивної діяльності, не потребують реєстрації.

Як і іншим цивільним повітряним суднам, зареєстрованим безпілотним літальним апаратам заборонено здійснювати польоти у певних зонах, а саме:

- захищених (урядові будівлі, промислові об'єкти);
- з обмеженим доступом (кордони країн, військові об'єкти);
- зарезервованими для інших літальних об'єктів.

Користувачі, зацікавлені у специфічних зонах, мають надсилати запит до Державного підприємства обслуговування повітряного руху України.

З іншого боку, безпілотні літальні апарати, що мають вагу менше 20 кілограм, не потребують реєстрації чи будь-якого дозволу на польоти від державних органів. Більш того, немає обмеження на використання дронів у містах для особистих потреб, окрім як у стратегічно важливих для держави зонах з обмеженим доступом.

У травні 2018 року Державна авіаційна служба України оприлюднила проєкт Концепції положення та процедур по забезпеченню безпеки польотів повітряних суден авіації загального призначення, спортивних, аматорських та безпілотних літаків.

Хоча підготовка проєкту Положення мала завершитись до кінця 2016 року, її було відкладено більш ніж на рік. Тим не менш, зміст цього проєкту демонструє, що законодавець має за мету помістити всі безпілотні літальні апарати у чітке правове поле. Документ складається з таких частин:

- класифікація та реєстрація безпілотних літальних апаратів;
- навчання та сертифікація персоналу;

- медичні вимоги до операторів, інтеграція безпілотних літальних апаратів до загальної системи повітряного руху;
- ліцензування та сертифікація операторів безпілотних літальних апаратів для комерційного використання, страхові питання;
- моніторинг та забезпечення безпеки діяльності безпілотних літальних апаратів.

Вказані положення дублюють відповідні норми Резолюції Європейського парламенту з безпечного використання так званих “дистанційно пілотованих літальних систем (ДПЛС)”, що відомі як “безпілотні літальні апарати (БПЛА)”, у сфері цивільної авіації. Однак, схоже що Проєкт відповідає Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, що зобов’язує держави забезпечувати безпечні умови для цивільних повітряних суден у зонах, де використовуються дрони.

З 24 лютого 2022 року, відповідно до Закону України “Про правовий режим воєнного стану”, в Україні введено режим воєнного стану!

З 24 лютого 2022 року закрито повітряний простір України для цивільних користувачів повітряного простору, включаючи й безпілотні повітряні літальні апарати (БПЛА).

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

### **Висновки до першого розділу**

Було розглянуто основні групи сучасних безпілотних літальних апаратів та їх інформаційно-технологічні характеристики, а також основні переваги та недоліки безпілотних літальних апаратів. Розглянуто класифікації БПЛА за

злітною масою, дальністю, висотою, тривалістю польоту, а також за типом конструкції та силової установки тощо.

Проаналізували перспективи виробництва і використання вітчизняних безпілотних літальних апаратів. В Україні спостерігається щорічний приріст в розвитку безпіотної галузі. Компанії, які використовують БПЛА, не збираються знижувати стрімкі темпи.

Також дослідили правово-нормативну базу та державне регулювання виконання авіаційних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів.

## РОЗДІЛ 2

### УЛЬТРАЗВУКОВА ТОВЩИНОМЕТРІЯ ЯК ОДИН ІЗ СПОСОБІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОВЩИНИ І ЦІЛІСНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

#### 2.1. Ультразвукова товщинометрія

Ультразвукова товщинометрія є одним із способів неруйнівного контролю, акустичним методом визначення технічного стану об'єкта. Її суть полягає в вимірі товщини стінок та інших деталей об'єкта. Головною перевагою даного способу є можливість проведення вимірів без виведення об'єкта з експлуатації, а також можливість проведення контролю навіть у важкодоступних місцях, наприклад, коли важко або взагалі неможливо отримати доступ до внутрішньої сторони виробу.

Крім того, ультразвукова товщинометрія характеризується великою продуктивністю, високою точністю вимірювань, можливістю дослідження як металевих, так і неметалевих виробів.

Ультразвукова товщинометрія металу застосовується для визначення фактичної товщини металу в недоступних або важкодоступних для вимірювання інструментом металоконструкціях. Крім того, такий метод дозволяє визначити розміри деталі обладнання без їх демонтажу. Наприклад, елементи трубопроводу, вали, шпильки тощо.

В ході обстеження виміри знімаються в багатьох точках для виявлення можливих ділянок стоншування металу і отримання репрезентативної вибірки. Щоб почати дослідження досить одностороннього доступу до об'єкта.

Для більш точних результатів дослідження необхідно подальша обробка і аналіз отриманої інформації.

Так, для такої товщинометрії застосовують спеціальні компактні перетворювачі, які забезпечують щільний контакт перетворювача з об'єктом контролю.

Для проведення ультразвукової товщинометрії металу необхідна інформація про об'єкт контролю.

Для проведення ультразвукової товщинометрії потрібне спеціальне обладнання. Крім того, навички користування обладнанням, певні знання даної області, досвід роботи з різними об'єктами в різних умовах — все це є обов'язковими умовами проведення якісного дослідження та запорукою отримання найбільш точних і достовірних результатів.

## **2.2. Ультразвукові товщиноміри**

Ультразвуковий товщиномір – прилад для вимірювання товщини однорідних матеріалів (металл, кераміка, пластмас, скло, композит тощо). Для цього приладу характерна наявність ультразвукового датчика в зонді, який працює по принципу посилення імпульсу через покриття. Коли імпульс відбивається від зворотної сторони поверхні, він повертається до датчика та перетворюється в високочастотний сигнал. Ехо сигналу перетворюється в цифровий сигнал та аналізується для визначення товщини матеріалу. Допустима похибка для прибору даного типу становить  $\pm 3\%$ .

Ультразвуковий товщиномір використовується у випадках, коли є доступ тільки до одного боку матеріалу, товщину якого потрібно визначити, наприклад: трубопровід, або ті місця де неможливо провести механічні вимірювання (обмежений доступ), або це не є доцільним (потрібне розрізання матеріалу).

Перевага використання такого методу вимірювання – визначення товщини матеріалу без його розрізання, або вирізання окремої частини матеріалу [2]. Діапазон вимірювання товщини залежить від вибраного перетворювача та матеріалу та може бути в межах від 0,08 мм та до 653 мм.

Всі ультразвукові товщиноміри працюють на основі дуже точного вимірювання часу необхідного звуковому імпульсу, генерованого перетворювачем, для проходження через тестовий зразок. Оскільки звукові хвилі відбиваються від поверхні матеріалу, вимір відлуння від далекої сторони зразка може бути використано з метою вимірювання його товщини, таким же чином, як радар або сонар для вимірювання відстані. Дозвіл може бути в межах 0,001. Вся інформація про вимір буде перетворена у цифровий сигнал та виводиться користувачеві на дисплей у реальному часі.

Ультразвуковий товщиномір має ряд переваг у порівнянні з механічним і оптичним методами вимірювання у виробництві та експлуатації, з метою контролю якості, надійністю і моніторингу стану.

Сучасний ультразвуковий товщиномір – економічно ефективний і зручний спосіб для проведення неруйнівного контролю. Таким чином за допомогою цього пристрою можна досягти високої точності та надійності виміру. Завдяки можливостям виробу, а саме ультразвуковим вимірюванням, можна добре заощадити на матеріалі (розрізання та деформація матеріалу не потрібні), а також зусиллях при вимірах [18].

### **2.3. Ультразвуковий метод вимірювання товщини матеріалу**

На підприємствах для точного виміру товщини матеріалу використовують товщиноміри різного типу вимірювання товщини. Найбільш точним, а також зручним методом вимірювання товщини матеріалу являється ультразвуковий метод. Ультразвуковий метод має ряд переваг у порівнянні з

механічним і оптичним методами вимірювання у виробництві та експлуатації, з метою контролю якості, надійністю і моніторингу стану [5].

Сучасний ультразвуковий товщиномір – економічно ефективний і зручний спосіб для проведення неруйнівного контролю, а саме у випадках, коли є доступ тільки до одного боку матеріалу, товщину якого потрібно визначити, наприклад: трубопровід, або ті місця де неможливо провести механічні вимірювання (обмежений доступ), або це не є доцільним (потрібне розрізання матеріалу). Діапазон вимірювання товщини залежить від вибраного перетворювача та матеріалу. Таким чином за допомогою цього пристрою можна досягти високої точності та надійності виміру.

Завдяки можливостям виробу, а саме ультразвуковим вимірюванням, можна добре заощадити на матеріалі, а також це буде важливим для розділення праці на підприємстві, тому що для роботи з ультразвуковим товщиноміром потрібен один працівник.

Більшість сучасних портативних товщиномірів оснащено внутрішньою пам'яттю для збереження результатів вимірів, які можна буде переглянути використовуючи сам товщиномір. Також прилади мають порти USB або RS232 для передавання даних в програмному забезпеченні на комп'ютер для більш детального огляду проведеного виміру, а також налаштування калібровок приладу щодо різних типів матеріалу (швидкість звуку, товщина, назва матеріалу).

Як відомо ультразвукові товщиноміри відносяться до засобів непрямого вимірювання, тобто фактично ми вимірюємо не товщину виробу, а час проходження ультразвуку через нього. Шукане значення товщини прилад обчислює, перемножуючи цей час на швидкість ультразвуку в матеріалі виробу, тому правильність вимірювання визначається не тільки тим, наскільки вірно виміряний час, а й наскільки правильно була задана швидкість ультразвуку вимірюваного матеріалу [15].

## **2.4. Застосування безпілотних літальних апаратів у задачах неруйнівного контролю**

У наш час застосування безпілотних літальних апаратів у **задачах неруйнівного контролю** стало доволі поширеним.

З'являється все більше безпілотних літальних апаратів та функцій, які вони можуть виконувати як помічники інспекційних служб.

Все це свідчить про зростаючу роль та частку участі безпілотних літальних комплексів (БПЛК) при виконанні широкого спектру завдань, обсяг яких постійно зростає. Постійно збільшується номенклатура та можливості даних засобів, удосконалюється їх обладнання. Все це призводить до того, що підрозділи БПЛК залучаються до виконання різноманітних завдань, зокрема й для ультразвукової товщинометрії [10].

Стандартні методи проведення НК на висоті мають на увазі використання риштувань, підйомників або мотузок для контролю поверхні конструкції. Однак такі методи можуть бути небезпечними, витратними за часом та дорогими.

В умовах постійного вдосконалення технологій у галузі робототехніки існує більш безпечний спосіб вирішення цих питань: ультразвукові дрони.

Безпілотні авіакомплекси відкривають перед фахівцями НК у всіх галузях унікальні можливості. З їх допомогою можна отримати доступ до віддалених або важкодоступних зон без ризиків для життя і здоров'я спеціаліста. Дрони дозволяють дефектоскопістам швидко та точно виконувати контроль за менших операційних витрат та мінімальних ризиків.

У комплексі з обладнанням для фото- та відеозапису дрони можуть стати оптимальним інструментом для безпечного та ефективного виконання широкого спектру геодезичних та інспекційних завдань.



Компанія Skygauge Robotics, що базується в Торонто (Канада), виробляє дрони, які працюють у нафтогазовій галузі, інфраструктурі, на шельфових платформах, у сфері телекомунікацій тощо. Варто зазначити, що ця команда інженерів-робототехніків розробила унікальне рішення на базі дрону для безпечного, швидкого та економічного УЗК та візуального контролю: Skygauge.

Принцип роботи ультразвукового дрону Skygauge полягає в тому, що він має встановлений ультразвуковий товщиномір Olympus 38DL PLUS™ (рис. 2.1). Дрон оснащений роздільно-сумісним перетворювачем D790-SM Olympus та здатний виконувати контактний вимір товщини металу без урахування товщини лакофарбового покриття.



*Рис. 2.1. Підготовка ультразвукового товщиноміра 38DL PLUS до польоту на дроні Skygauge*

38DLP – це відповідний галузевим стандартам ультразвуковий товщиномір, який використовує звукові хвилі для вимірювання товщини стінок. Датчик можна встановити на дроні під різними кутами нахилу для контакту з поверхнями, розташованими вище або нижче цільової структури.

Весь робочий процес дрону Skygauge поділено на три основні категорії: -

- оцінка об'єкта;
- планування шляху польоту;
- подальший аналіз.

Перед виконанням контролю цільової структури працівники повинні переконатися у безпеці навколишнього середовища зони контролю, щоб роботі дрона нічого не перешкоджало.



*Рис. 2.2. Дрон Skygauge виконує контроль у небезпечних зонах*

Skygauge стабільно вимірює товщину металевих стінок (рис. 2.2) через заданий проміжок часу (наприклад, кожні 6 місяців), щоб перевірити, чи металева стінка труби, резервуара високого тиску або резервуара для зберігання

не тоншає. Якщо стінка з часом стала дуже тонкою, це є показанням до проведення технічного обслуговування.



*Рис. 2.3. Дрон Skygauge із встановленим P-C перетворювачем D790-SM Olympus*

Перетворювачі серії D790 (рис. 2.3, 2.4) використовуються для вимірювання ехо-сигналу та можуть застосовуватись на поверхнях, нагрітих до 500 °С, з нанесенням високотемпературної контактної рідини.



D790-SM

*Рис. 2.4. Перетворювачі серії D790*

У дроні використовується силівимірювальний зонд для розрахунку застосування точного зусилля, необхідного для зняття показань товщини та підтримки контакту з поверхнею в ході сканування. Конструкція дрону



Skygauge забезпечує точний політ, силовий контакт, опір вітру та можливість виконання контролю під нахилом.

У конструкції дрона передбачено керування вектором тяги, що дозволяє йому рухатися у будь-якому напрямку без порушення центру тяжіння. Дрони здатні нахилити свої несучі гвинти, щоб підлітати ближче до цільових структур для виконання контролю у більш стабільному положенні.

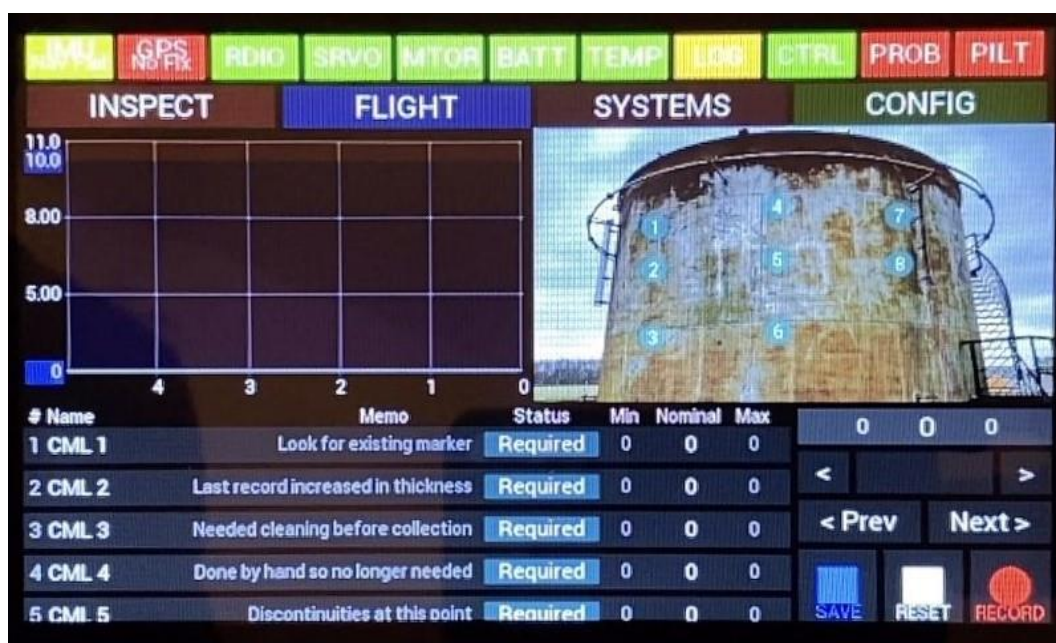


Рис. 2.5. Дрон Skygauge передає одержані дані оператору через бездротовий канал

При використанні дрона Skygauge для контролю важкодоступних зон дефектоскопісти можуть швидко оцінити стан конструкцій та отримати повний набір даних, не витрачаючи на це кілька днів, як при використанні традиційних методів.

За попередніми оцінками, у разі контролю на висоті та контролю важкодоступних місць на капіталомістких об'єктах, таких як морські судна, кораблі та вантажні судна, нафто- та газопереробні заводи та вітряні турбіни, безпілотне рішення Skygauge виконує ультразвуковий контроль у 5-10 разів швидше у порівнянні з людьми.

Завдяки такій системі два спеціалісти можуть виконати двотижневий обсяг робіт за два дні, а це означає 80% скорочення часу перебування на об'єкті.

У сучасному світі дрони широко застосовуються у різних галузях промисловості задля оптимізації рутинних завдань. Використання дронів в області НК відкриває широкі можливості завдяки поєднанню високої мобільності дрона та ефективності різних методів контролю. Оператори дронів можуть регулярно проводити контроль на об'єктах нафтогазової промисловості, своєчасно виявляючи дефекти і, відповідно, знижуючи кількість відмов та незапланованих зупинок.

Skygauge дозволяє зазирнути у майбутнє неруйнівного контролю: така технологія скорочує час виконання робіт, зменшує витрати та підвищує безпеку, оскільки робітники більше не наражаються на ризики, пов'язані з роботою на висоті.

За кордоном вже існують та активно розвиваються фірми, що пропонують послуги НК за допомогою БПЛА, на ринку України поки що небагато таких пропозицій, тож дана галузь є дуже перспективною для розвитку [17].

## **Висновки до другого розділу**

Було визначено сутність ультразвукової товщинометрії, що є одним із способів неруйнівного контролю, акустичним методом визначення технічного стану об'єкта. Приладом для вимірювання товщини однорідних матеріалів (металл, кераміка, пластмас, скло, композит тощо) є ультразвуковий товщиномір, який відноситься до засобів непрямого вимірювання. Ультразвукові товщиноміри вимірюють час проходження ультразвукового імпульсу від випромінювача до протилежної поверхні об'єкта контролю та назад до перетворювача. Для проведення таких вимірювань доступ до протилежної поверхні об'єкта контролю не потрібно. Завдяки цьому, якщо протилежна поверхню об'єкта контролю є важкодоступною або повністю

недоступною, необхідність розрізати об'єкт контролю (що необхідна для використання мікрометра або штангенциркуля) відсутня. Багато сучасних ультразвукових товщиномірів оснащені складними системами реєстрації та передачі даних, що забезпечують сполучення товщиномірів з комп'ютерними базами даних.

## **РОЗДІЛ 3**

### **АНАЛІЗ БПЛА РІЗНИХ ТИПІВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ**

#### **3.1. Загальна характеристика безпілотного літального апарату Elios 2 (компанія “Джерман Тулз Інспекшен”)**

У межах завдання необхідно провести аналіз для 3 моделей з різними характеристиками і геометричними формами.

Технології використання БПЛК вже у значній мірі змінили промислову галузь за рахунок підвищення ефективності, економії ресурсів та зменшення ризиків. З'являються моделі літальних пристроїв, сконструйованих спеціально для вирішення виробничих завдань. У зв'язку з цим існує ряд вимог, які впливають безпосередньо на якість контролю та отримані результати [22].

ТОВ “Джерман Тулз Інспекшен” надає послуги з неруйнівного контролю у наступних галузях:

- нафтогазова;
- агропромислова;
- хімічна;
- харчова;
- енергетична;
- будівництво;
- морські перевезення.

Компанія здійснює повну перевірку таких об'єктів: бурові вежі, наземне та підземне бурове обладнання (бурові труби, вибійні двигуни, комплектувальні елементи низу бурильної колони, талева та насосна системи),

нафтові та газові трубопроводи, підіймальні крани баштових та мачтових типів, а також їх вузлів.

ТОВ “Джерман Тулз Інспекшен” також проводить візуальну інспекцію в замкнених та важкодоступних просторах за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на таких об’єктах як: морські трюми, танкери, мости, шляхопроводи, цистерни, печі, резервуари, ємності, системи подачі та транспортування вуглеводнів, елеватори, силоси, резервуари, димоходи та котли.

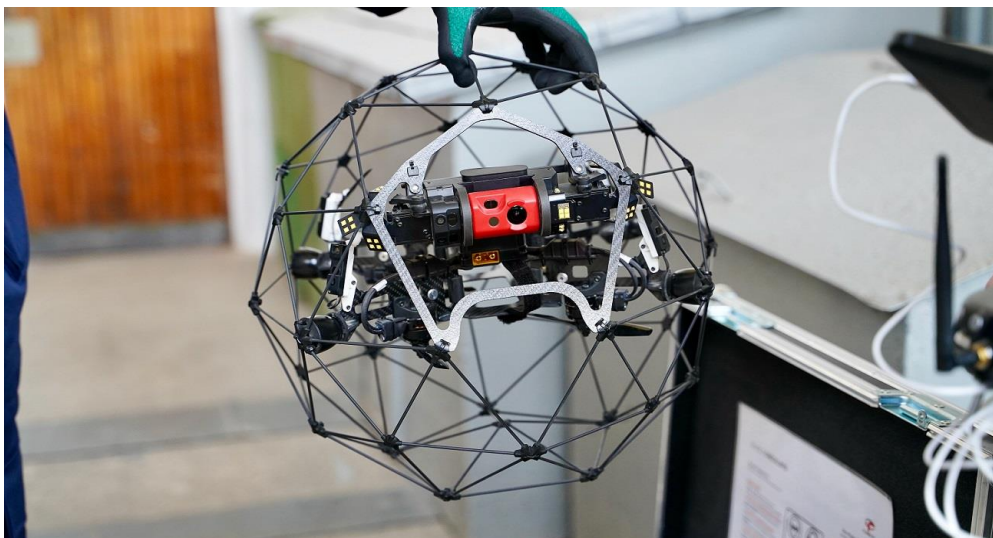
Послуги з проведення інспекцій надають спеціалісти, сертифіковані в Німеччині за системою ISO 9712 в незалежному центрі по сертифікації DGZfP (Берлін), в Швейцарії у тренувальному центрі компанії Flyability (Подекс) та в асоціації незалежних експертів “Укрексперт” (Київ).

Роботи проводяться із застосуванням всіх норм та вимог, що відповідають передовим потребам, заявленим до технології виконання неруйнівного контролю та візуальної інспекції за допомогою БПЛА як у Європі, так і у всьому світі.

Для перевірок у закритих просторах БПЛА слід належним чином закріпити з точки зору конструкції, оскільки вони піддаються зіткненням. Таким є дрон ELIOS виробництва швейцарської компанії Flyability.

Компанія “Джерман Тулз Інспекшен” для виконання авіаційних робіт для ультразвукової товщинометрії використовує безпілотний літальний апарат Elios 2 (рис. 3.1).

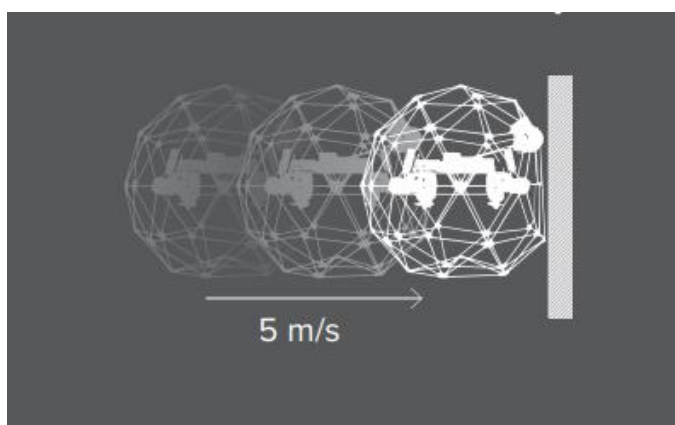




*Рис. 3.1. Безпілотний літальний апарат Elios 2*

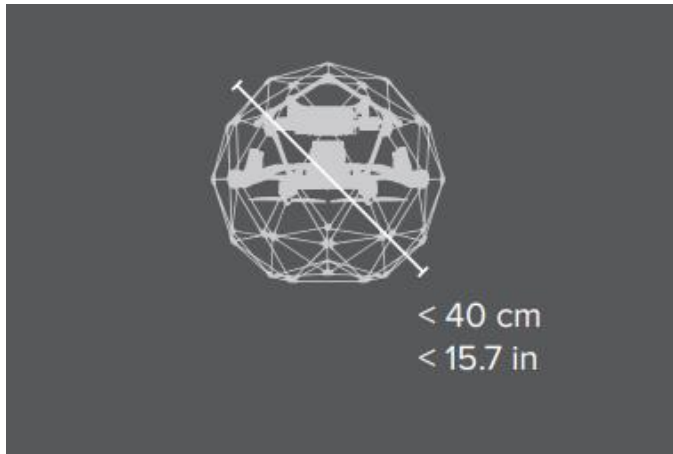
Відповідно плановий або терміновий контроль можна проводити значно ефективніше, швидше та якісніше за допомогою Elios 2, виробництва швейцарської компанії Flyability. З першої хвилини польоту дрона можна побачити стан необхідного об'єкту та спостерігати за інспекцією в реальному часі, при підготовці в кілька хвилин.

Завдяки сферичному каркасу, що захищає гвинти та навантаження від ударів, Elios 2 завжди залишається стабільним за рахунок блискавичної корекції швидкості та напрямки обертання гвинтів. Все корисне навантаження встановлене на висувній конструкції, яка захищає її від ушкоджень у разі лобових ударів (рис.3.2).



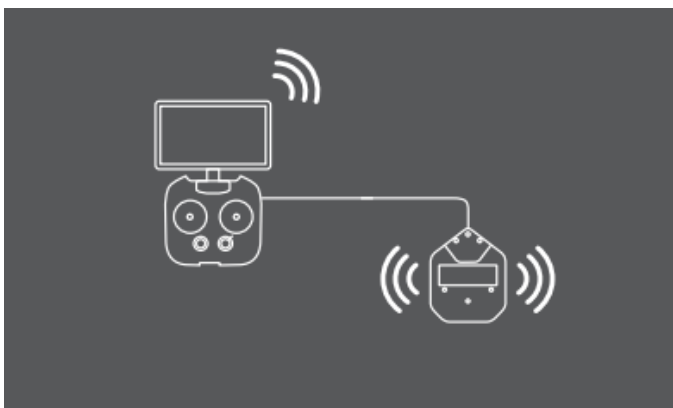
*Рис. 3.2. Схематичне зображення руху Elios 2*

Elios 2 з діаметром трохи менше 40 см підходить для стандартних люків і може проникати у будь-який простір, де потрібне обстеження. Його можна безпечно та легко направити до будь-яких приміщень підприємства без доступу людини, туди, куди ні за яких умов співробітникам заборонено входити під час обстеження (рис. 3.3).



*Рис. 3.3. Розміри Elios 2*

За допомогою Elios 2 проводяться дистанційні перевірки за межами прямої видимості, через стіни, оминаючи перешкоди. Його бездротова система передачі може використовуватися в будь-яких приміщеннях та може комплектуватися підсилювачем сигналу для самих складних ситуацій (рис.3.4).



*Рис. 3.4. Бездротова система передачі Elios 2*

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАДРОКОПТЕРА ELIOS 2

РОЗМІРИ: < 400 mm сфера

ДВИГУНИ: 4 реверсивні безщіткові двигуни

ГВИНТИ: 4 гвинти, 5 дюймів

ЗЛІТНА ВАГА: < 1450 g;

(з батареєю та корисним навантаженням)

ЧАС ПОЛЬОТУ: До 10 min на 1 батареї

МАКС ШВИДКІСТЬ ПРИ ПІДЙОМІ: 1.5 m/s; 5 ft/s

МАКС ШВИДКІСТЬ ПРИ ЗНИЖЕННІ: 1 м/с; 3,3 ft/s

МАКС ШВИДКІСТЬ:

1.3 m/s (Optical режим)

4 m/s (Attitude режим)

6.5 m/s (Sport режим)

МАКС ТАНГАЖ:

0.15 rad (Attitude режим)

0.2 rad (Optical режим)

0.3 rad (Sport режим)

ОПІР ШВИДКОСТІ ВІТРУ:

3 m/s (Optical режим)

5 m/s (Sport режим)

ДАТЧИКИ УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ: інерційний, магнетометр, барометр,

7 візуальних та датчиків дистанції

МАТЕРІАЛИ: карбоновий композит, магнієвий сплав, авіаційний алюміній, високоякісний пластик

РОБОЧА ТЕМПЕРАТУРА: 0 °C to 50 °C (необхідно вжити додаткових

запобіжних заходів між 0-10°C та 40-50°C. Стабільність, льотні характеристики та час польоту можуть бути скорочені)

РЕЖИМИ ПОЛЬОТУ:

ОРТІ - Оптичний

АТТІ - Висотний

SPORT - Sport

БЕЗПЕКА: автоприземлення при втраті сигналу

РОБОЧІ ЧАСТОТИ: 2404-2483 МГц (БПЛА - ДУ)

ЕІВП:

2.4 GHz:  $\leq 32$  dBm (FCC);

(CE);  $\leq 10$  dBm/MHz (MIC)

НАВАНТАЖЕННЯ: бризго- та пилозахист

РІВЕНЬ ШУМУ:

99 dB(A) зависання

120 dB(A) max 1m

### **Батарея**

НОМІНАЛЬНА ПОТУЖНІСТЬ: 5200 mAh

НОМІНАЛЬНА НАПРУГА: 19 V

ТИП: LiPol 5S HV (розумна батарея):

- безпека (захист від: перезарядження, великого струму, температурних стрибків)
- plug-and-play заряджання
- самотестування
- саморозряд при зберіганні
- оцінка стану заряду
- лічильник циклів
- battery ID

ЕНЕРГІЯ: 98.8 Wh

ЧАС ЗАРЯДУ: 1.5 год

ЧАС ЗАМІНИ БАТАРЕЇ: <1 хв

ВІДПОВІДНІСТЬ: схвалено для ручної поклажі. Відповідає перевезенню небезпечних предметів.

ВАГА: 550 g; 1,2 lbs

РОБОЧА ТЕМПЕРАТУРА: 0-50°C

ТЕМПЕРАТУРА ЗАРЯДА: 10 - 45°C; 50°F - 113°F

МАКСИМАЛЬНА ПОТУЖНІСТЬ ЗАРЯДА: 150 VA AC power

З.П.: розраховано на заряд 2 батарей

### **Підвіс навантаження**

ГОЛОВКА КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ: стійка до вібрацій

CAMERA POD: нахил вгору +90 градусів

CAMERA POD: нахил вниз -90

ЗАХИСТ НАВАНТАЖЕННЯ: захищений від фронтальних зіткнень поза захисним каркасом

### **Відеокамера**

ОСНОВНЕ:

1/2.3" CMOS

Ефективна матриця: 12.3 М

Чутливість: для поганих умов освітлення

ФОРМАТ ФОТО: JPG

ВІДЕОФОРМАТИ: MOV

РОЗШИРЕННЯ ВІДЕОЗАПИСУ:

4k Ultra HD: 3840 x 2160 at 30 fps

FHD: 1920 x 1080 at 30 fps

РОЗШИРЕННЯ ВІДЕОПЕРЕДАЧІ:

FHD: 1920 x 1080 at 30 fps

ПОЛЕ ЗОРУ ВІДЕО:

114 ° горизонт, 130.8 ° діагональ

ПОЛЕ ЗОРУ ФОТО: 118.8° горизонт, 148.6° діагональ

ПОЛЕ ЗОРУ ПО ВЕРТИКАЛІ: приблизно 260 ° з нахилом камери

ОБ'ЄКТИВ: 2.71 мм фокусна відстань. Фіксований фокус

РЕЖИМИ УПРАВЛІННЯ: авто з ручним керуванням ISO

ЗБЕРІГАННЯ ФАЙЛІВ:

MicroSD card Max: 128 GB

Рекомендується: Sandisk

Extreme micro SDXC UHS-I V30

ФАЙЛОВА СИСТЕМА: FAT32 для карток до 32 GB, exFAT для карт понад 32 GB

### **Термокамера**

ОСНОВНЕ: Lepton 3.5 FLIR

РОЗШИРЕННЯ: 160 x 120, 9 Гц

ОБ'ЄКТИВ: поле 56 ° x 42 °, глибина різкості 15 см до нескінченності

ЧУТЛИВІСТЬ (NETD): < 50 мк

ДОВЖИНА ХВИЛІ (LWIR): 8-14 μm

### **Освітлення**

ТИП: LEDs високої потужності спереду, зверху, знизу. Оптимізовані для роботи в запылених умовах. ІЧ-світло, що використовується для системи стабілізації.

УПРАВЛІННЯ: з пульта, адаптоване до нахилу камери

РЕЖИМИ: розсіяне / пілозахисне (для близько розташованих об'єктів); селективне/косе освітлення

ПОТУЖНІСТЬ: 10 000 Люмен

### **Експлуатаційна безпека і удароміцність**

НАВІГАЦІЙНІ ВОГНІ: зелений (правий) та червоний (лівий).

ЗАХИСНИЙ КАРКАС: карбоновий з м'яким покриттям, модульні частини для легкої заміни, термопластикові підвіси, передній отвір для легкого доступу до батареї.

СТІЙКІСТЬ ДО ЗІТКНЕННЯ: захищений з усіх боків, до 3 м/с на плоских предметах, до 1.5 м/с гострих предметах

### **Наземний пульт управління**

ПЛАНШЕТ МОДЕЛЬ: Samsung Galaxy Tab Active 2

ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ: USB зарядний пристрій 5 В

РОБОЧА ТЕМПЕРАТУРА: від -15 до +40 °С

ТЕМПЕРАТУРА ЗАРЯДУ: від -15 до +40 °С

ЧАС ЗАРЯДУ: 5 год

ЧАС РОБОТИ: 5 год (при прийомі відеопотоку) - 76 год (в режимі очікування)

ЧАСТОТИ:

2404 - 2483 МГц (RC to UAV)

5738 – 5808 MHz (RC to RC)

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ: Windows 7, 8 і 10 (32 і 64 біт)

МАКС. ВІДСТАНЬ ПРИЙОМУ СИГНАЛУ:

До 500 у прямій видимості

EIRP 2.4 Ghz  $\leq$ 20 dBm, 5.8 GHz  $\leq$ 13 dBm,

920 MHz  $\leq$ 10 dBm

ВАГА: 924 г з тримачем планшета

РОБОЧА ТЕМП.: 0 °С до 40 °С

ПОРТИ: HDMI, SDI, USB

БАТАРЕЯ: 6000 mAh 2S

УПРАВЛІННЯ: Дроном та навантаженням

ОПЦІЇ: ДУ (оператор камери) з прийомом відеопотоку на вторинному екрані та подвійним управлінням установок камери.

ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ: 17.4 V / 57 W

На сьогодні вартість Elios 2 (Professional Package) становить 2 199 000 грн.

Це дійсно хороший прилад для вирішення цього класу задач, оскільки апарат розміщений всередині захисної клітки, яка дозволяє входити в тісний замкнений простір для збору необхідних відомостей, які важко отримати іншими способами. Також на нього може бути прикріплена додаткова вимірювальна і наглядова апаратура для обстеження, зокрема товщиномір.



*Рис. 3.5. Elios 2 під час вимірювання металу на виявлення поверхневих і внутрішніх недоліків*

Таким чином, відкривається широкий діапазон можливостей безпілотного літального апарата.

Компанія “Джерман Тулз Інспекшен” використовує ультразвуковий метод для виявлення дефектів різного походження практично у всіх сталях і сплавах. Застосовується у багатьох галузях та виробництвах при перевірці цілісності металу та виявленні як поверхневих, так і внутрішніх недоліків (рис.



3.5), що залягають під поверхнею об'єктів. Метод має досить широкі можливості по виявленню дефектів різних видів. Він дозволяє реєструвати більшість виробничо-технологічних та експлуатаційних недоліків. Також є основою для вимірювання товщини металевих виробів.

Даний метод використовується при проведенні неруйнівного контролю в таких секторах:

- ливарне виробництво;
- поковки;
- зварювання і наплавлення;
- металовироби та напівфабрикати;
- теплова енергетика;
- трубопроводи;
- металоконструкції і будівельні конструкції;
- бурове обладнання.

Отже, провівши аналіз характеристик вказаного БПЛА, можна впевнено наголосити, що апарат дає змогу забезпечити вирішення широкого кола завдань, зокрема у важкодоступних для людини місцях.

### 3.2. Характеристика і можливості Voliro T

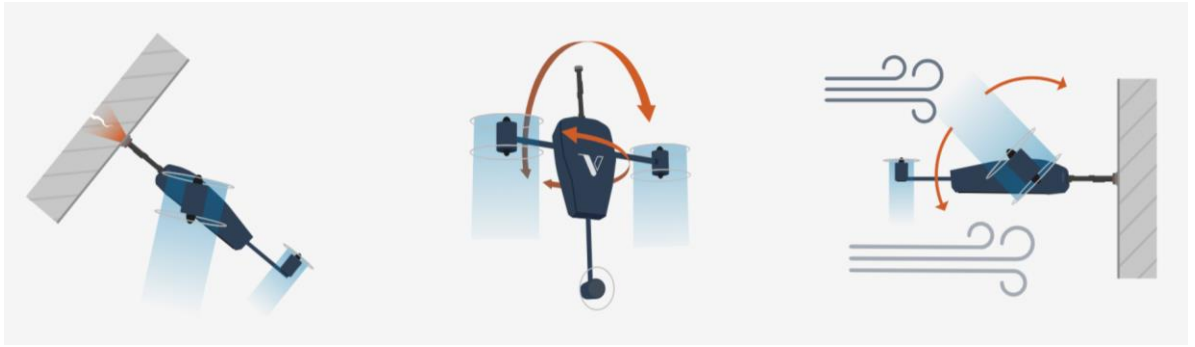
Технологічні прориви, особливо робототехніка та штучний інтелект, у всьому світі швидко змінюють спосіб нашої взаємодії з технологіями, які нас оточують. Протягом останніх кількох років світ був свідком зростання кількості стартапів, які вдосконалюють спосіб взаємодії з роботами в усіх сферах життя. Оскільки ринок робототехніки, за оцінками фахівців, сягне 210 мільярдів доларів США до 2025 року, вартим уваги є розроблений у 2021 році Voliro T - багатоцільова роботизована літальна платформа, що переосмислює роботу на висоті (рис. 3.6).



*Рис. 3.6. Безпілотний літальний апарат Voliro T*

#### Можливості Voliro T

- 1) фізична взаємодія з предметами;
- 2) будь-яка орієнтація, будь-яка висота, будь-де (надзвичайна мобільність. робот може нахилитися на  $\pm 90^\circ$ , щоб забезпечити взаємодію в будь-якій орієнтації);
- 3) стабільний і надійний (вектор тяги та контроль 6DoF забезпечують стабільність, необхідну для надійної взаємодії в складних умовах) (рис. 3.7);



*Рис. 3.7. Техніко-фізичні характеристики VOLIRO T*

- 4) розширена автономність (завдяки напіваавтономним режимам польоту навіть у середовищах із заборонаю GRS, VOLIRO T безпечний і простий у польоті в безпосередній близькості від будівель);
- 5) готовий до автоматизованих наскрізних робочих процесів (робот, призначений для комунікації з людьми та машинами. Відкриті інтерфейси дозволяють бездоганно це інтегрувати);
- 6) модульне корисне навантаження (навантаження до 1 кг для вирішення ваших завдань. Окрім вбудованих датчиків, камер тощо) (рис. 3.8).



*Рис. 3.8. Опціональність VOLIRO T*

### **Літальний апарат**

Тип/конфігурація дрона: мультироторний/всеспрямований трикоптер

Вага (без батарейок): 3,7 кг

Максимальна злітна вага: 6,0 кг

Максимальна вага корисного навантаження: 1,0 кг

Розміри (Д×Ш×В):

78 × 78 × 34 см (без роторів, бамперів і корисного навантаження)

118 × 109 × 34 см (від кінця ротора до кінця корисного вантажу)

Дрон можна транспортувати шляхом від'єднання хвостової частини, корисного навантаження та бамперів.

Камера:

4К 12MP інспекторська камера (горизонтальний кут огляду 80°)

Камера пілота 4К 12MP (горизонтальний кут огляду 140°)

Частота кадрів: 30/60fps

найкращий GSD: 0,16 мм/піксель

Формати відео: H.265 (.MP4)

Зберігання файлів: карта microSD, 256 ГБ

Камера інспектора (трансляція відео в прямому ефірі): HD 30 кадрів/с

Камера пілота: (трансляція відео в реальному часі): HD 30 кадрів/с

Живий потік даних корисного навантаження

Потужність світлодіодів: макс. 17 000 люмен (регулюється через RC);

інтелектуальне терморегулювання

Сенсорна система:

глибина камери (VGA)

6 × датчик відстані LiDAR

6 × візуальний датчик швидкості

RTK GPS (багатодіапазонний, BeiDou, Galileo, ГЛОНАСС, GPS /QZSS)

IMU, барометр і магнітометр

### **Можливості польоту, експлуатація та обмеження**

Час польоту: 10 - 14 хв. (залежить від місії та корисного навантаження)

Режими польоту: ручні налаштування (стабілізація положення), висота, позиція, помічник взаємодії

Режими екстреного польоту: інтелектуальне автоматичне зниження/утримання позиції при втраті сигналу

Допомога в навігації поза приміщеннями на основі GPS: позиція, швидкість, положення

GPS у приміщенні заборонено: висота, швидкість, положення

Точність взаємодії:  $\pm 2$  см (нормальні умови середовища, навчений пілот)

Максимальна горизонтальна швидкість:

3 м/с (у режимі позиційного польоту)

15 м/с (у висотному та ручному режимах польоту)

Максимальна швидкість підйому/спуску: 3 м/с (у режимі польоту за позицією та висотою)

10+ м/с (в ручному режимі)

Опір вітру:

12 м/с (у вільному польоті)

8 м/с (в режимі взаємодії) (для точної взаємодії потрібна швидкість вітру нижче 6 м/с рекомендований)

Кут нахилу:  $\pm 90^\circ$  (Voliro T може взаємодіяти з поверхнею будь-якої орієнтації)

Максимальна відстань передачі:

> 300 м для всіх каналів передачі даних (прямий VLOS)

> 2 км для зв'язку дистанційного керування, що має важливе значення для безпеки

Температура: від  $-10$  до  $+40$  °C (без постійного прямого сонячного світла, якщо температура  $> 30$ °C. Якщо температура  $< 5$  °C, час польоту може бути зменшено)

Максимальна висота: 5000 м над рівнем моря

Час складання:  $< 5$  хв.

## **Батарея**

Тип батареї: LiPo (HardCase, UN3481)

Конфігурація батареї: 2 × 6S батареї паралельно

Потужність: 99 Вт\*год (потрібна пара батарей)

Ємність: 2 × 4500 мАг

Вага: 1,3 кг (на пару батарейок)

Напруга відключення зарядки: 25,2 В

Мінімальна напруга: 21,6 В (без навантаження) (батарея може бути пошкоджена, якщо напруга нижча)

Рекомендована напруга зберігання: 22,2 - 22,8 В

Рекомендований зарядний струм: < 9 А або 1С

Температура зарядки: 10 - 30 °С

Час зарядки: < 90 хв

Розумна батарея: Ні, батареї потрібно обробляти та доглядати відповідно

Паспорт безпеки матеріалу (MSDS): доступний за запитом

Акумулятори Voligo T схвалені авіакомпаніями відповідно до ІАТА 2.3.А.

Тип зарядного пристрою: подвійний LiPo зарядний пристрій змінного/постійного струму з функцією балансування

Вхідна напруга зарядного пристрою:

110-120 В змінного струму / 220-240 В змінного струму (ручний перемикач), 50 / 60 Гц

9 - 32 В постійного струму

Максимальна вихідна потужність: 600 Вт

## **Пульт дистанційного керування та планшет**

Пілотний планшет (у комплекті): Samsung Galaxy Tab S6 Lite

26,31 см / 10,4", 2000 x 1200 (WUXGA+), TFT

2,3 ГГц, 1,7 ГГц, восьмиядерний

Зарядний пристрій для планшета: через пульт дистанційного керування / канал передачі даних, 12 В

Акумулятор планшета: 7040 мАг

Планшет інспектора (у комплекті): ідентичний пілотному планшету

Режим дистанційного керування: режим 2 (дросель і поворот на лівому джойстику)

Акумулятор пульта дистанційного керування: 3600 мАг

Зарядний пристрій для пульта дистанційного керування: вхід 110–240 В змінного струму, вихід 12,8 В постійного струму

### **База RTK GPS**

Антенa GPS: вбудована активна антена

Штатив: Rollei Compact Traveler Star S1, 38,5 - 125 см

Акумулятор: 3000 мАг

Зарядний пристрій: вхід 110–240 В змінного струму, вихід 12,8 В постійного струму

### **Передача даних**

Відео та канал передачі даних:

2400–2483 ГГц ISM, EIRP < 100 мВт

5,725–5,875 ГГц ISM, EIRP < 25 мВт (режим CE)

RC Link: 2,4 ГГц ISM, EIRP < 100 мВт

RTK Telemetry Link:

LPD433 МГц (ITU Регіон 1, Малайзія)

915 МГц (регіон ITU 2, Австралія з обмеженою смугою пропускання)

EIRP < 10 мВт

Дистанційне мовлення: ID Link WiFi 2,4 ГГц

Voliro прагне забезпечити інноваційні БПЛА з унікальними можливостями. Розташований у Цюріху (Швейцарія), стартап розробив

передового літаючого апарата для безпечної та ефективної роботи на висоті. За допомогою свого літаючого робота Voliro T компанія Voliro співпрацює з постачальниками інспекційних послуг і власниками активів.

Завдяки наявним датчикам EMAT (електромагнітно-акустичний перетворювач), UT (ультразвуковий перетворювач) і DFT (товщина сухої плівки) для вимірювання товщини стінок і товщини покриття, можна проводити точні вимірювання та виявляти корозійні або ерозійні поверхні (рис. 3.9).



*Рис. 3.9. Датчики VOLIRO T*

Ультразвукове вимірювання товщини в середовищах із заборонаю GPS: всередині резервуарів для зберігання з нержавіючої сталі.

Зазвичай ізольовані резервуари для зберігання з нержавіючої сталі перевіряють зсередини. Після зливу речовин, промивання та очищення вимірюється рівень кисню, фахівці опускаються всередину для виконання обстеження. Однак замкнутий простір має певні ризики, що може призвести до втрати життя.



Voliro T, який оснащений ультразвуковим товщиноміром, використовувався для проведення ультразвукових вимірювань товщини всередині п'яти ізольованих резервуарів з нержавіючої сталі. Ці резервуари мали 20 метрів у висоту та 18 метрів у діаметрі. Оскільки в резервуарі немає сигналу GPS, Voliro T може переключитися на використання 6 оптичних датчиків потоку для позиціонування та контролю. Світлодіоди, встановлені на захисних кожухах, забезпечують освітлення до 20000 Лм для ретельного візуального огляду. Також завдяки унікальній можливості векторизації сили Voliro можна виконувати обстеження на будь-якій висоті та в будь-якій орієнтації, що необхідно для точних показань датчика.

Обсяг перевірки полягав у виконанні 3-х точкових вимірювань на стінках і дахах резервуарів. Загалом у 5 резервуарах було взято 700 точок вимірювання.

Перевірка, проведена за допомогою Voliro T, значно скоротила час обстеження, а також унеможливила перебування людей у замкненому просторі.

Основні результати:

- за 1,5 дні перевірено 5 цистерн;
- відсутність перебування персоналу в замкнутому просторі;
- Повний огляд стінок і даху резервуара;
- Скорочено витрати на перевірку до 50%;
- Забезпечено цілісність резервуарів для зберігання, дотримуючись усіх правил, стандартів і кодексів.

### **3.3.Розробка безпілотної літака на базі Tarot Iron Man 680 для ультразвукової товщинометрії**

Була зроблена спроба розробити БПЛА - інспекційного робота для вимірювання товщини. Основна задача полягала у розробці дрона, який би забезпечив візуальний огляд і вимірювання плоских елементів металевих конструкцій.

#### **3.3.1. Вибір товщиноміра**

При виборі товщиноміра враховувався критерій пропускнув можливості виконання вимірювання відстані. На ринку не так багато товщиномірів, які дозволяють передавати результати вимірювань в реальному часі на відстань 50 м.

Таким товщиноміром є SONO M510 фірми METRISON з можливістю проводити вимірювання за допомогою кабелю довжиною до 50 м, що з'єднує головку з товщиноміром. Використання даного товщиноміра можливо, для цього потрібне постійне підключення за допомогою кабелю ультразвукової головки, розташованої на дроні, з товщиноміром, який перебуває у руках оператора. Подвійні головки, які використовуються з цим товщиноміром, потребують з'єднувача, щоб можна було зробити вимірювання.

Спроби використовувати цей товщиномір, на жаль, не принесли очікуваного результату. Тому було вирішено шукати інший принцип, без використання кабелю.

Звичайно, існують технічні можливості відправити результати вимірювання по радіозв'язку, але це вимагає товщиноміра абсолютно іншої конструкції. До того ж наявні ціни на ринку були суттєвими, що перевищувало бюджет, виділений на цей проєкт. Тому пошуки іншого рішення продовжилися.

Розв'язанням цієї проблеми виявився спосіб передавання зображення з екрану товщиноміра у момент зчеплення головки з елементом досліджуваної конструкції. Це рішення призвело до необхідності шукати товщиномір із дисплеєм, розміщеним таким чином, щоб він не вимагав від БПЛА надмірної висоти.

Таким товщиноміром виявився MULTIGAGE 5500 від фірми Tritex, що дає змогу виконувати вимірювання через покриття товщиною до 6 мм. MULTIGAGE 5500 обладнаний в головці однією захищеною мембраною (рис.3.10). В умовах виконання вимірювання не потрібно додаткового зчпного пристрою. Наявної вологи на елементах конструкції достатньо.



*Рис. 3.10. MULTIGAGE 5500*

## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОВЩИНОМІРА MULTIGAGE 5500

<b>Sound Velocity Range</b>	<i>From 1000 m/s to 8000 m/s (0.0394 in/<math>\mu</math>s to 0.3150 in/<math>\mu</math>s)</i>		
<b>Single Crystal</b>			
<b>Soft Faced Probe Options</b>	2.25 MHz	3.5 MHz	5 MHz
<b>Probe Measurement Range</b>	3 - 250 mm	2 - 150 mm	1 - 50 mm
<b>Probe Sizes</b>	13 mm & 19 mm	13 mm	6 mm & 13 mm
<b>Resolution</b>	0.1 mm (0.005") or 0.05 mm (0.002")		
<b>Accuracy</b>	$\pm 0.1$ mm (0.005") or $\pm 0.05$ mm (0.002")		
<b>Coatings Range</b>	Up to 6mm (Standard Mode)*; up to 20mm (Coating Plus+)*		
<b>Display</b>	Red 4 character 7 segment LED		
<b>Batteries</b>	3 x disposable AA alkaline batteries or rechargeable NiMH / NiCD		
<b>Battery Life</b>	Up to 50 hours continuous use using alkaline batteries		
<b>Gauge Dimensions</b>	147 mm x 90 mm x 28 mm (5.75" X 3.5" X 1")		
<b>Gauge Weight</b>	320 g (11.3 ounces) including batteries		
<b>Environmental</b>	Case rated to IP65. RoHS and WEEE compliant		
<b>Operating Temperature</b>	-10°C to +50°C (14°F to 122°F)		
<b>Storage Temperature</b>	-10°C to +60°C (14°F to 140°F)		

Товщиномір оснащений автоматичною системою перевірки вимірювань (AMVS), що виключає помилкові результати вимірювань.

### 3.3.2. Вибір БПЛА для виконання завдання

Проаналізувавши представлені на ринку варіанти, виявилось, що жоден з них не задовольняє всі критерії, яким повинна відповідати конструкція БПЛА, а саме:

- а) можливість встановлення товщиноміра;
- б) легке транспортування до місця вимірювання;
- в) відносно безпечне виконання польоту в обмеженому просторі (зіткнення);
- г) забезпечити горизонтальний рух до вимірювальних елементів з дуже низькою швидкістю;
- д) зависання;
- е) наявність власного освітлення;
- є) можливість спостереження за параметрами польоту в реальному часі;

ж) можливість спостереження за навколишнім середовищем у реальному часі;

з) можливість передачі результатів вимірювань оператору в режимі реального часу.

Тому було вирішено сконструювати дрон, який би мав змогу виконувати завдання такого типу. За основу було взято наявний в продажу каркас TAROT Iron Man 680 (hexacopter) (рис. 3.11, 3.12).

Деякі деталі конструкції цієї рами зроблені з міцного, але водночас легкого, вуглецевого волокна. Максимальна вага, яку здатний підняти цей коптер, дорівнює майже 3 кілограмам, за загальної ваги рами ~800 грам. Таким чином існує можливість встановити додаткове обладнання на цілих 2 кг. При цьому у тестах цей гексакоптер піднімав і більше трьох кілограмів ваги (близько 3,6 кг). Отож можливості розширення цього коптера колосальні.

#### **Технічні характеристики**

Відстань від двигуна до двигуна: 685 мм

Вага рами: 780 г

Розміри центральної пластини: 195 x 195 мм

Загальна політна вага: ~2,8 кг

Висота: 180 мм

Діаметр променів: 16мм

Двигун: безколекторний 3508 415kV x6

Пропелери: 12x4.2 "CW, CCW x10

Пульт управління: 7 каналів, 2.4 ГГц Spektrum DX7s

Акумулятор (основний): Aga Power Li-Po 10000mAh 22.2V

Акумулятор (для харчування FPV): Aga Power Li-Po 2200mAh 11.1V

Політний час: ~15-25 хвилин

Силова установка. На борту встановлені безколекторні мотори 3350 класу з регуляторами ходу в 20А - відмінне рішення з хорошим співвідношенням тяги

до ваги. Завдяки злагодженій роботі цих компонентів апарат літає швидко і стійко, а з польотним контролером DJI Naza M-V2 - ще й безпечно.

Польотний контролер з GPS. Плата управління Tarot FY680 надає користувачеві три режими автопілота. Є також функція Fail-safe, захисту від розрядки АКБ, і система "розумного" орієнтування в просторі. Завдяки контролеру Naza коптер вміє повертатися додому, зависати в одній точці і виробляти самостійну посадку. Такий набір можливостей не дасть втратити гексакоптер, розбити його через втрату сигналу. Шестироторна конструкція дозволяє правильно підібрати автопілот, можлива безпечна посадка з одним пошкодженим гвинтом. Отже, розмір конструкції дає змогу встановити товщиномір.



*3.11. Каркас у розкладеному стані*



*Рис. 3.12. Каркас у складеному стані*

Дрон має власне освітлення - три світлодіодні прожектори потужністю 3Вт і 1,5 Вт. Чого цілком достатньо (пункт е).

Реалізація: пункти **в**, **г** досягнуто за допомогою польотного контролера NAZA M-V2 від DJI, що дозволяє дрону зависати, а також у разі пошкодження одного з пропелерів безпечно приземлятися. Для забезпечення горизонтального підводу до вимірюваного елемента використовувався додатковий накопичувач EDF (рис. 3.13). Це вимагало належної переробки каркасу.



*Рис.3.13. Забезпечення горизонтального підводу до вимірюваного елемента завдяки додатковому накопичувачу EDF*

Пункти є і ж. Спостереження параметрів на фоні зображення камери FVP під час польоту надає iOSDmini від DJI. На тлі зображення камери відображаються наступні параметри:

- напруга акумулятора;
- відстань від початкової точки;
- висота дрона відносно місця зльоту;
- кут нахилу;
- горизонтальна швидкість;
- вертикальна швидкість;
- курс дрона відносно точки зльоту.

Для спостереження за середовищем використано три кольорові мінікамери:

- передня камера - RunCam PZ0420M;
- верхня - RunCam OWLPLUS 700TVL 0,0001 люкс.;
- нижня (задня) камера 600TVL – ІЧ-чутлива модель: HS1177.

Зображення з камер передається передавачем 5,8 ГГц і приймається одночасно на два монітори з приймачами. Зображення камери перемикається за допомогою обладнання для управління дроном.

### **3.3.3. Передача результатів вимірювань**

Зображення результатів відображається на дисплеї товщиноміра за допомогою камери, де вбудований передавач до монітора:

- оператор WM701 TFT LCD7" HD (рис. 3.14);
- монітора FPV 718B 7" HD (рис. 3.15).





*Рис. 3.14. Оператор WM701 TFT LCD7" HD*



*Рис. 3.15. Монітор FPV 718B 7" HD*

### **3.3.4. Конструкція дрона з товщиномірною голівкою**

Після вибору товщиноміра та рами коптера було розпочато конструювання рукоятки, де кріпиться голівка товщиноміра, зокрема необхідно:

- забезпечити правильне (перпендикулярне) положення голівки відносно поверхні, з якої проводиться вимірювання;

- забезпечити належне прикріплення головки до вимірювального елемента;
- захистити головку від ударів об досліджувану конструкцію;
- можливість легкого розбирання для транспортування.

Дрон під час польоту завжди нахилений. При досягненні досліджуваної конструкції площина, в якій рухаються гвинти, утворює з площиною досліджуваної поверхні кут, відмінний від нормального. Найбільшою задачею для вирішення виявився перпендикуляр положення головки по відношенню до досліджуваної поверхні. Головка повинна бути зафіксована шарніром і мати стопорний хомут, який розташовує головку перпендикулярно до місця застосування. Після численних випробувань було встановлено, що роль шарніра найкраще виконує пружина, до якої прикріплена головка, оснащена стопорним кільцем.

Захист головки від динамічного впливу на досліджуваний елемент забезпечувався завдяки механічній рухомій головці. Також є додатковий захист від можливих ударів головки. Такий захист дозволяє проводити вимірювання при висунутій головці. Для захисту головки кріпиться електромагніт, який забезпечує належне кріплення головки до досліджуваної поверхні.

Після підготовки дрона згідно з інструкцією до проведення вимірювань та запуску двигунів необхідно перевірити справність:

- роботи камер і моніторів;
- перемикача камери;
- правильність роботи механізмів переміщення камери;
- рухомість головки;
- наявність освітлення;
- здійснити пробний політ.

Тільки підготовлений таким чином дрон можна використовувати для проведення вимірювань.

Отже, досвід, отриманий під час конструювання і випробувань, дозволяє зробити висновок, що створення дрона для проведення вимірювань є цілком можливе.

### **3.4. Аналіз показників ефективності Elios 2, Voliro T, безпілотного літального апарату на базі Tarot для ультразвукової товщинометрії**

Для здійснення товщинометрії найбільше підходять БПЛА, які мають високу маневреність та керованість, просту конструкцію і можуть виконувати багато різних функцій, потребують досить простих навичок керування при відносно невисокій вартості.

Чим більше двигунів – тим більше живлення потребує апарат і тим більша повинна бути ємність батарей. Але чим більше двигунів, тим більше вантажопід'ємність апарату та менше польотний час і тим меншу дальність може подолати безпілотник. В той же час, чим більше обертів двигунів в одиницю часу, тим більше вантажопід'ємність і тим вище може піднятися БПЛА. В протилежність останнього, чим більше двигунів, тим складніше керування апаратом, збільшуються його габарити, а як наслідок збільшується “парусність”. Пориви вітру на висоті можуть частіше перевертати літальний апарат, “здувати” його з курсу і для підтримки заданого напрямку польоту буде витрачатися більше живлення.

Для мультикоптерів важливою характеристикою є кількість гвинтів. Вважалось, що кількість гвинтів впливає на стабільність польоту. Так коптери з 8-ю гвинтами літали набагато стабільніше 4-х і 6-ти гвинтових. Але у нашому випадку всі аналізовані нами коптери літають однаково стабільно, навіть в разі відмови одного з гвинтів.

Більшість моделей БПЛА використовують електродвигуни. Характеристики двигуна відповідають за максимальну дальність і час польоту. Електродвигуни живляться від акумуляторних батарей різного типу і залежать від розмірів БПЛА. Elios 2 може провести в повітрі до 10 хвилин на 1 батареї (їх 2), Voliro T - від 10 до 14 хв. (залежить від місії та корисного навантаження), а от гексакоптер на базі Tarot - аж до 30 хв.

Максимальна і крейсерська швидкість впливають на можливість використання БПЛА в вітряну погоду і на їх продуктивність. Середня крейсерська швидкість Elios 2 становить 6,5 м/с, а Voliro T - 15 м/с, як і гексакоптера на базі Tarot.

Обмеження використання БПЛА за швидкістю вітру при старті і посадці в середньому складають до 10 м/с.

Для зв'язку з БПЛА під час польоту використовуються радіоканали. Частоти таких каналів варіюють від 433 МГц до 2,4 ГГц, а саме Elios 2 має 2404-2483 МГц, Voliro T - 2,4 ГГц, гексакоптер на базі Tarot - 2,4 ГГц.

Іноді за допомогою радіоканалу передають відео та фотоматеріали, отримані під час зйомки. Розмір і кількість антен, їх конструкція впливають на аеродинаміку, насамперед для платформи тактичної підтримки. Основним критерієм вибору схеми БПЛА і платформи тактичної підтримки повинні бути перелік їх функцій і завдань, що вони повинні виконувати, дальність і висота польотів, а також вимоги до вантажопід'ємності корисного вантажу та можливого бортового обладнання.

На БПЛА може встановлюватися платформи з відеообладнанням і роботизований пристрій для виконання наземних операцій із обраними об'єктами сервісного маніпулювання. В останньому варіанті використовується робот-маніпулятор, який може захопити об'єкт і перемістити його завдяки квадрокоптеру в задану точну простору або на базу управління, може заміряти його вагу, габарити, температуру, інші фізико-хімічні показники, зокрема

товщину, чи визначити радіологічні характеристики навколишнього середовища [27].

Крім фотокамер на борт БПЛА можуть бути встановлені інші прилади, такі наприклад як тепловізор, лазерний сканер, товщиномір тощо. Використовуючи ці прилади є можливість вирішувати виробничі завдання, пов'язані з моніторингом та технічним діагностуванням об'єктів.

Блок платформи тактичної підтримки повинен відповідати меншій кількості критеріїв – максимальний польотний час, стабільність висоти “баражування”, можливість ретрансляції потоків управління на БПЛА з НЦУ та ретрансляції відео і телеметрії у зворотному напрямку, включаючи загоризонтний варіант. У цьому випадку можна зазначити, що оптимальним варіантом для реалізації ПТП є квадрокоптер вагою 1-2 кг, швидкістю польоту 50-60 км/год., максимально досяжною висотою польоту 4 км, з підняттям корисної ваги до 2-2,5 кг. Такі показники у нашому випадку задовольняють Voliro і гексакоптера на базі Tarot.

Для платформи тактичної підтримки важливим є також аеродинамічні характеристики, які можуть впливати на польотну стійкість і, відповідно на стабільність ретрансляції потоків даних та відео між БПЛА і НЦУ.

## **Висновки до третього розділу**

Отже, було розглянуто три моделі БПЛА, які відрізняються геометричними формами та наявністю додаткових елементів - Elios 2, Voliro T, безпілотного літального апарату на базі Tarot. Всі моделі підходять для виконання ультразвукової товщинометрії. Однак варто зауважити на їх різних функціональних можливостях, часові виконання робіт, можливості використання за певних умов, обмеженнях.

## РОЗДІЛ 4

# АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ

### 4.1. Обробка аеронавігаційних даних

Автоматизована обробка даних є типовою задачею що вирішується сучасними аеронавігаційними системами. Обробка аеронавігаційних даних забезпечується як на борту у певних блоках авіоніки, так і у наземних обчислювальних комплексах. Навігаційні параметри у сучасних системах вимірюються за допомогою значної кількості різних сенсорів, що забезпечують створення архіву даних, обробка яких потребує застосування спеціалізованих алгоритмів статистичної обробки. Кожен сенсор виконує вимірювання з певною величиною похибки, дію якої не можна виключили, проте її можна зменшити до прийняттого рівня. Отже, сумісна обробка даних у аеронавігаційній системі виконується з урахуванням дії похибок кожного з сенсорів. Для цього використовують довірчі інтервали, що гарантують знаходження певного інтервалу у проміжку з певною ймовірністю [29]. Найбільш застосовуваними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, що забезпечує 95% локалізації вимірянних значень, виходячи з припущення про нормальний закон розподілу похибок.

Кожен блок авіоніки у своїй структурі більш схожий до архітектури персонального комп'ютера з відповідними елементами: процесор, пам'ять, аналого-цифрові/цифро-аналогові перетворювачі, що дозволяє виконувати обробку вимірянних даних на програмному рівні [24]. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових

значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних реєстрах, змінних, матрицях чи архівах даних.

Визначення точного місцеположення повітряного корабля (ПК) є однією з найважливіших задач цивільної авіації [30-32]. Зростаючі обсяги авіаперевезень вимагають постійного перегляду норм ешелонування для задоволення росту потреб авіаційного транспорту. Норми ешелонування ПК визначають максимально допустимі межі розділення ПК у просторі у вертикальній площині, боковому та повздожньому відхиленнях. Єдиним можливим шляхом вирішення питання перевантаженості повітряного простору є збільшення пропускної здатності певної частини повітряного простору за рахунок зменшення безпечних відстаней між ПК. На практиці це реалізується шляхом введення більш точних вимог до визначення місцеположення ПК у просторі. Введення більш точних вимог до позиціонування ПК можливе лише за умови наявності відповідних систем здатних задовільнити їх. Функціонування систем позиціонування ПК цивільної авіації забезпечується полем аеронавігаційних сигналів, що створюється у просторі різними системами.

У якості прикладу обробки даних великої розмірності розглянемо траєкторію руху літального апарату та виконаємо її розрахунок за допомогою програмного забезпечення MATLAB.

## **4.2. Вхідні дані**

Сучасний літак цивільної авіації обладнаний цілою групою різноманітних датчиків, що забезпечують визначення координат місцеположення ПК у просторі. Відповідно до концепції автоматичного залежного спостереження (ADS-B) користувачі повітряного простору повинні періодично повідомляти своє місцеположення у просторі в автоматичному режимі. Найбільш поширеним бортовим обладнанням ADS-B є літаковий відповідач режиму

1090ES. Літаковий відповідач виконує функції автоматичного генерування цифрових повідомлень відповідно до налаштувань системи (стандартні налаштування забезпечує випромінювання сигналу з частотою у 1 Гц) та виконує їх випромінювання через всепрямовані антени системи [33, 34]. Поширене цифрове повідомлення містить ідентифікацію літака, координати місцеположення, барометричну висоту та інші дані. Координати ПК отримуються з обчислювальної системи літаководіння після вибору оптимальної системи позиціонування для певного повітряного простору виходячи з точності, що забезпечується системою та специфікаційних вимог, які діють у повітряному просторі, де перебуває літак.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані, передані за концепцією ADS-B. Зокрема, ідентифікаційний код літака з координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних [35, 36]. Зокрема, обчислювальний кластери компаній Flightradar24 та Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [37] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 4.1).



*Рис. 4.1. Мапа глобального трафіку [37]*

Доступ до глобальних баз даних траєкторної інформації є відкритим і забезпечується на комерційній основі. Програмно керований інтерфейс



дозволяє отримати будь-який сегмент траєкторних даних для подальшого аналізу. У якості вхідних даних я використаю дані траєкторії польоту ASA905, що забезпечуються авіакомпанією Alaska Airlines 905 зі SEATTLE, WA та RALEIGH / DURHAM, NC. Дата вильоту 07 листопада 2022 о 07:33AM PST. Дата посадки 07 листопада 2022 о 03:25PM EST. Політ виконувався на Boeing 737-900. Вхідні дані отримано від архіву за посиланням <https://flightaware.com/live/flight/ASA905/history/20221107/1545ZZ/KSEA/KRDU>.

У таблиці 4.1 наведено перші та останні 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 4.1

Траєкторні дані рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

Час (EEST)	Широта	Довгота	Курс	Швидкість (kts)	Швидкість (mph)	Висота (фут)
Mon 10:48:43 AM	47.4342	-122.3079	? 180°	178	205	1,050
Mon 10:48:59 AM	47.4221	-122.3077	? 179°	183	211	1,650
Mon 10:49:15 AM	47.4090	-122.3078	? 181°	182	209	2,250
Mon 10:49:31 AM	47.3949	-122.3081	? 181°	184	212	2,800
Mon 10:49:47 AM	47.3811	-122.3083	? 181°	192	221	3,250
Mon 10:49:54 AM	47.3738	-122.3085	? 181°	196	226	3,015
Mon 10:51:07 AM	47.3107	-122.2682	? 106°	266	306	5,600
Mon 10:51:34 AM	47.3128	-122.2164	? 83°	277	319	6,750
Mon 10:51:50 AM	47.3161	-122.1898	? 75°	280	322	7,325
Mon 10:52:14 AM	47.3274	-122.1439	? 69°	286	329	8,325
Mon 10:52:44 AM	47.3417	-122.0873	? 71°	294	338	9,375
Mon 10:53:29 AM	47.3613	-122.0027	? 70°	314	361	10,850
Mon 10:53:59 AM	47.3770	-121.9390	? 70°	345	397	11,300
Mon 10:54:29 AM	47.3933	-121.8704	? 71°	362	417	12,075
Mon 10:54:59 AM	47.4099	-121.8018	? 70°	365	420	13,275
...						
Mon 03:11:22 PM	35.8375	-78.9957	? 226°	210	242	3,150
Mon 03:11:42 PM	35.8240	-79.0128	? 223°	210	242	2,775
Mon 03:12:00 PM	35.8089	-79.0214	? 192°	203	234	2,700
Mon 03:12:17 PM	35.7941	-79.0171	? 151°	192	221	2,725
Mon 03:12:34 PM	35.7837	-79.0055	? 135°	185	213	2,725
Mon 03:12:55 PM	35.7711	-78.9899	? 134°	184	212	2,725
Mon 03:13:15 PM	35.7653	-78.9706	? 91°	174	200	2,750
Mon 03:13:39 PM	35.7698	-78.9478	? 75°	172	198	2,725
Mon 03:14:09 PM	35.7760	-78.9192	? 75°	167	192	2,725
Mon 03:14:26 PM	35.7795	-78.9048	? 70°	166	191	2,725
Mon 03:14:47 PM	35.7900	-78.8891	? 44°	163	188	2,325
Mon 03:15:17 PM	35.8047	-78.8710	? 46°	150	173	1,800
Mon 03:15:46 PM	35.8193	-78.8527	? 44°	146	168	1,400
Mon 03:15:56 PM	35.8241	-78.8471	? 43°	145	167	1,641
Mon 03:17:06 PM	35.8564	-78.8076	? 45°	141	162	400

### 4.3. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу ASA905 від 07 листопада 2022 у програмне забезпечення MATLAB [38]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.4.2., а вертикальний профіль представлено на рис. 4.3.

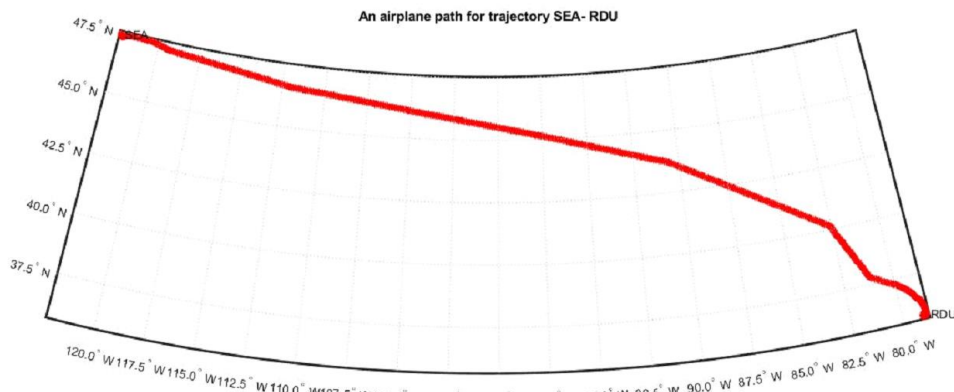


Рис. 4.2. Траєкторія руху рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

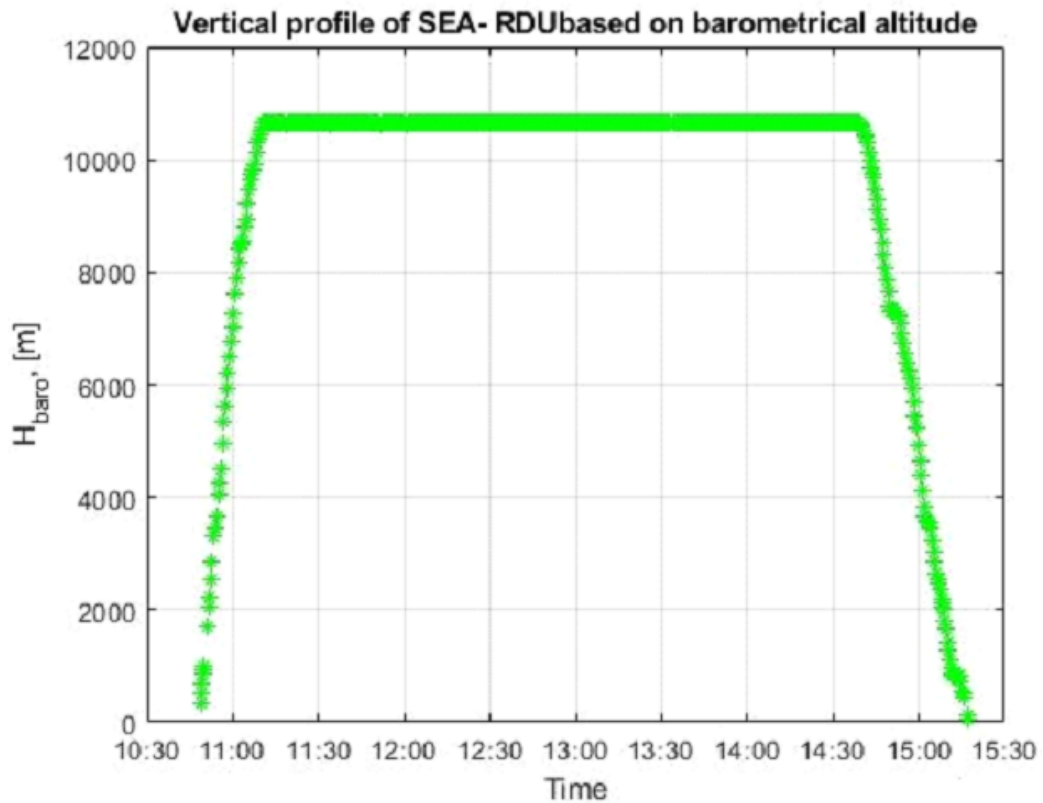


Рис. 4.3. Вертикальний профіль рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

#### 4.4. Інтерполяція траєкторних даних

Цифрові повідомлення передані за концепцією ADS-B є несинхронізованими за часом. Кожин передавач може бути налаштований на свою частоту видачі цифрових повідомлень. Крім того слід відмітити що частота 1090 МГц є доволі завантаженою, оскільки на ній працюють вторинні радіолокатори, системи попередження зближень літаків та ADS-B. Це призводить до того, що певні цифрові повідомлення можуть накладатися одне на одне, спотворюючись. Тож траєкторні дані є несинхронізовані з багатьма «битими» повідомленнями. Для вирішення цієї проблеми застосовують методи інтерполяції даних. У якості інтерполюючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис. 4.4 - 4.6. Усі наступні обчислення будемо виконувати з інтерпольованими даними. Відобразимо дані у локальній системі NEU. У якості

центра системи використовуємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 4.7 та рис. 4.8.

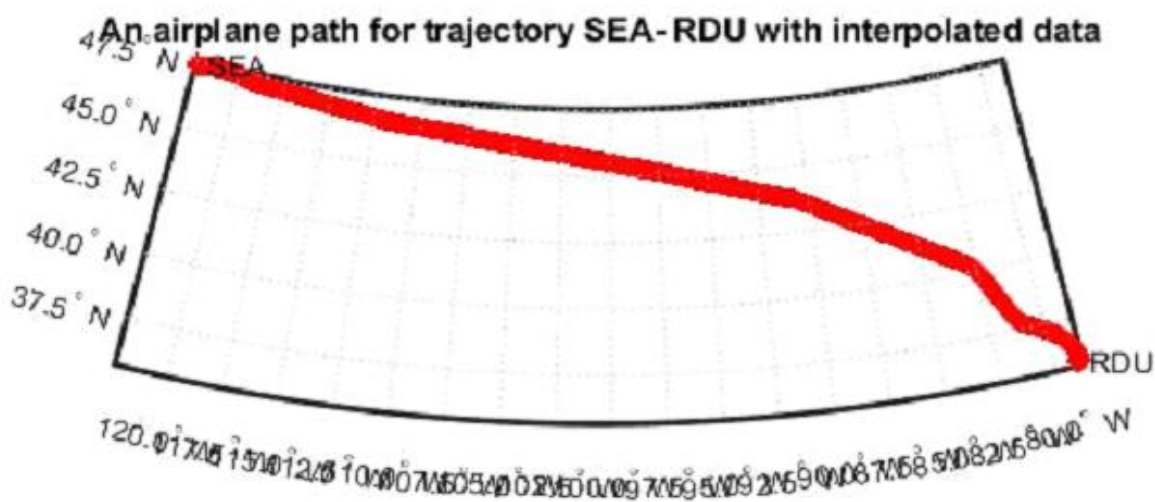


Рисунок 4.4. Інтерпольована траєкторія руху ПК рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

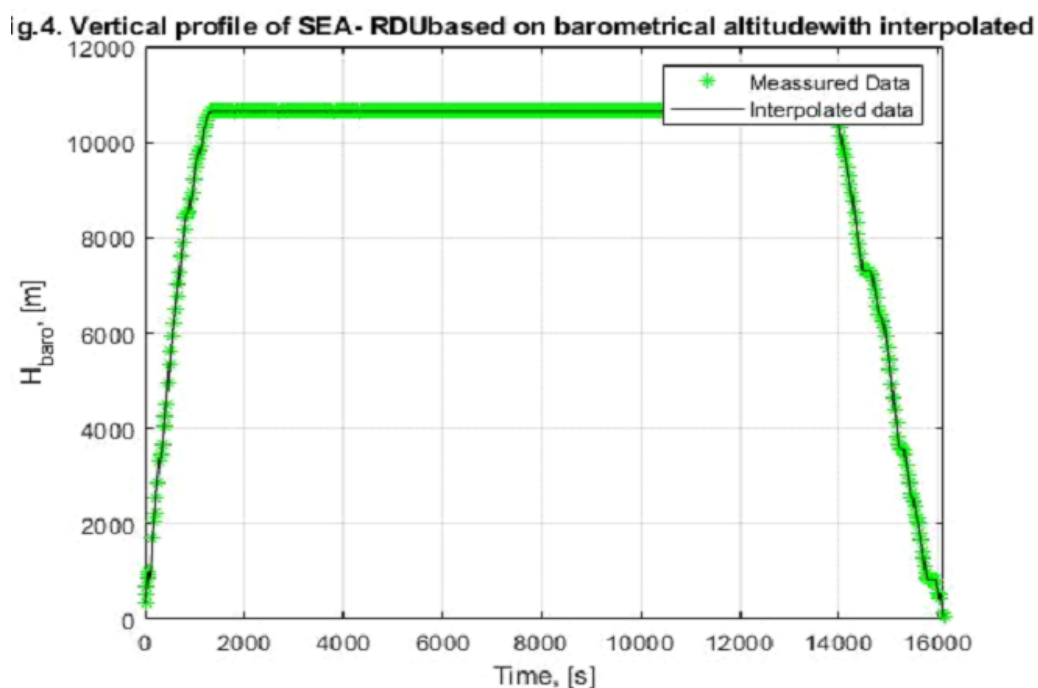


Рисунок 4.5. Інтерпольований вертикальний профіль ПК рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

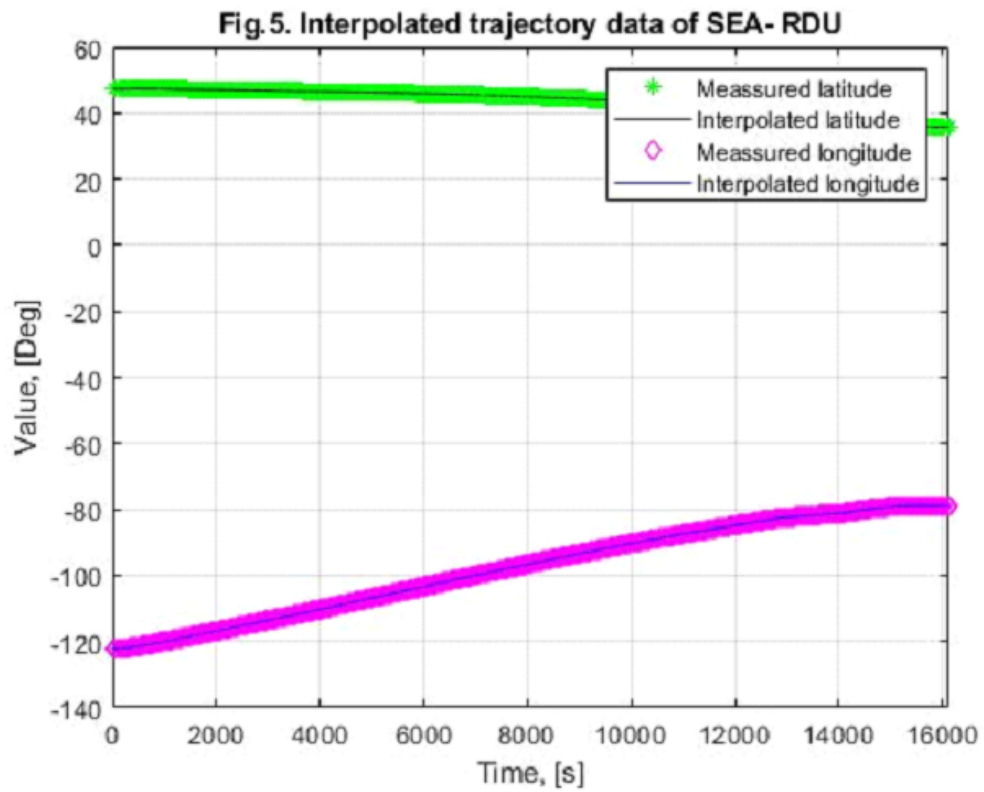


Рис. 4.6. Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

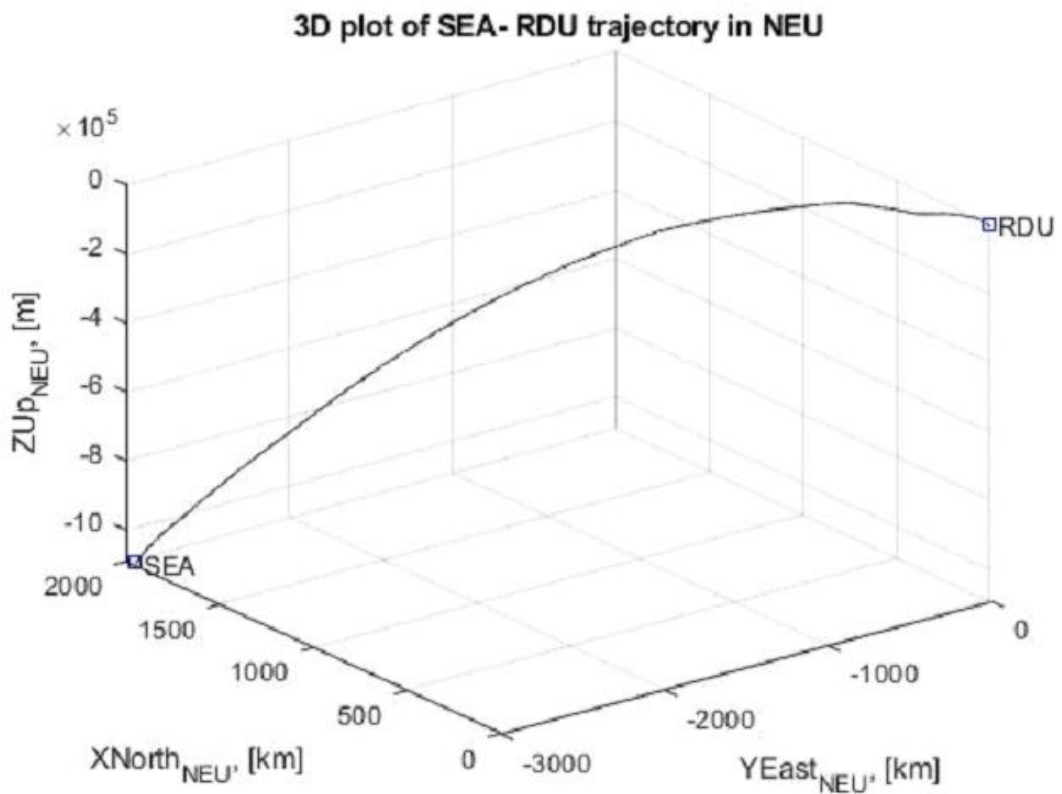


Рис. 4.7. Траєкторія руху рейсу ASA905 у локальній системі координат

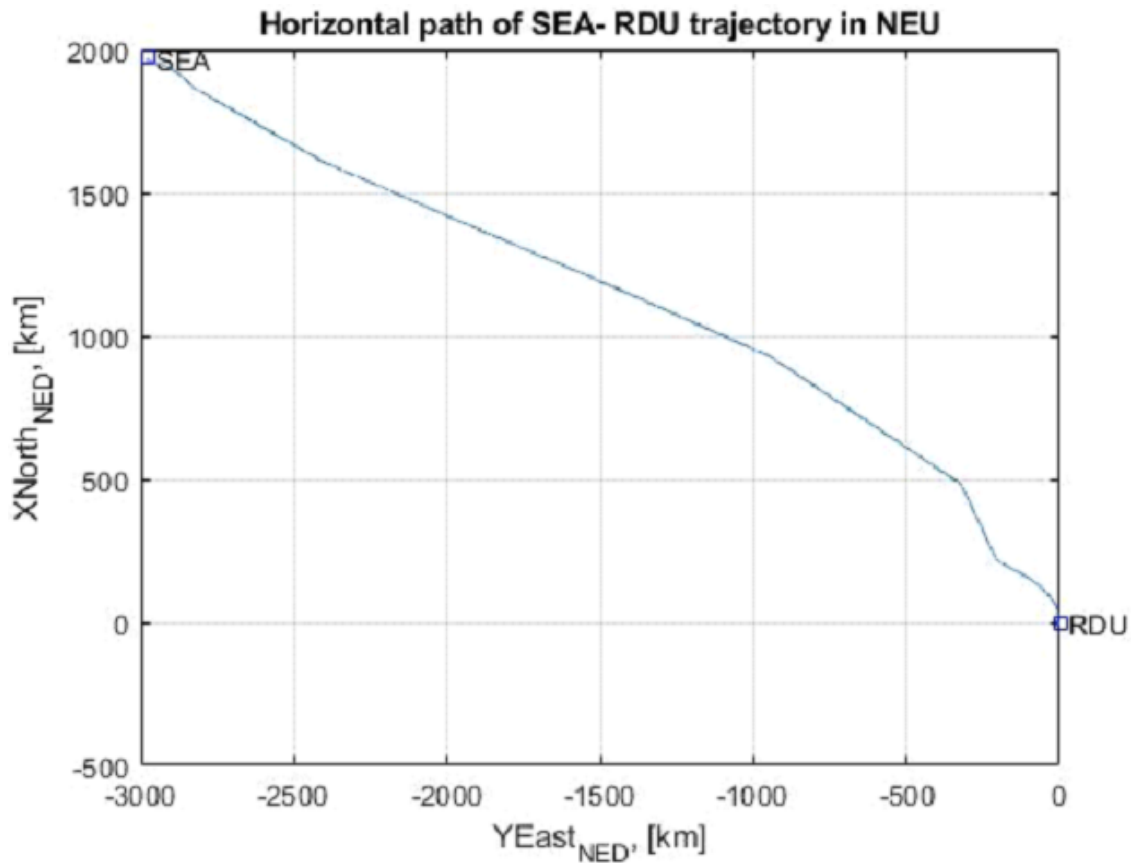


Рис. 4.8. Шлях руху рейсу ASA905 у локальній системі координат

#### 4.5. Розрахунок параметрів траєкторії

За набором даних тривимірної траєкторії руху виконаємо розрахунок компонентів швидкості, зокрема розрахуємо повну швидкість ПК, вертикальний та горизонтальний компонент. Результати розрахунку швидкості наведено на рис. 5.9., а оцінений курс літака на рис. 5.10. Також підрахуємо загальний час польоту, довжину маршруту та траєкторії.

Загальний час польоту рейсу ASA905 від 07 листопада 2022 склав 4h 28m 39s. Довжина траєкторії – 3934.5 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 3933.9 км.

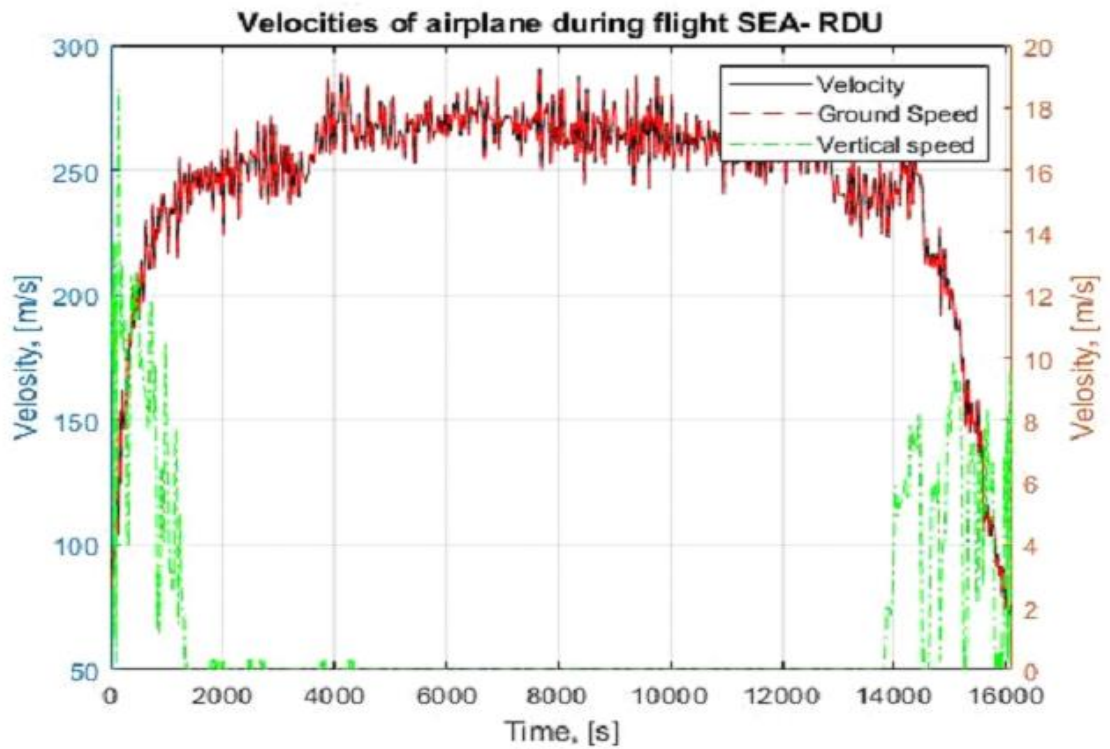


Рис. 4.9. Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

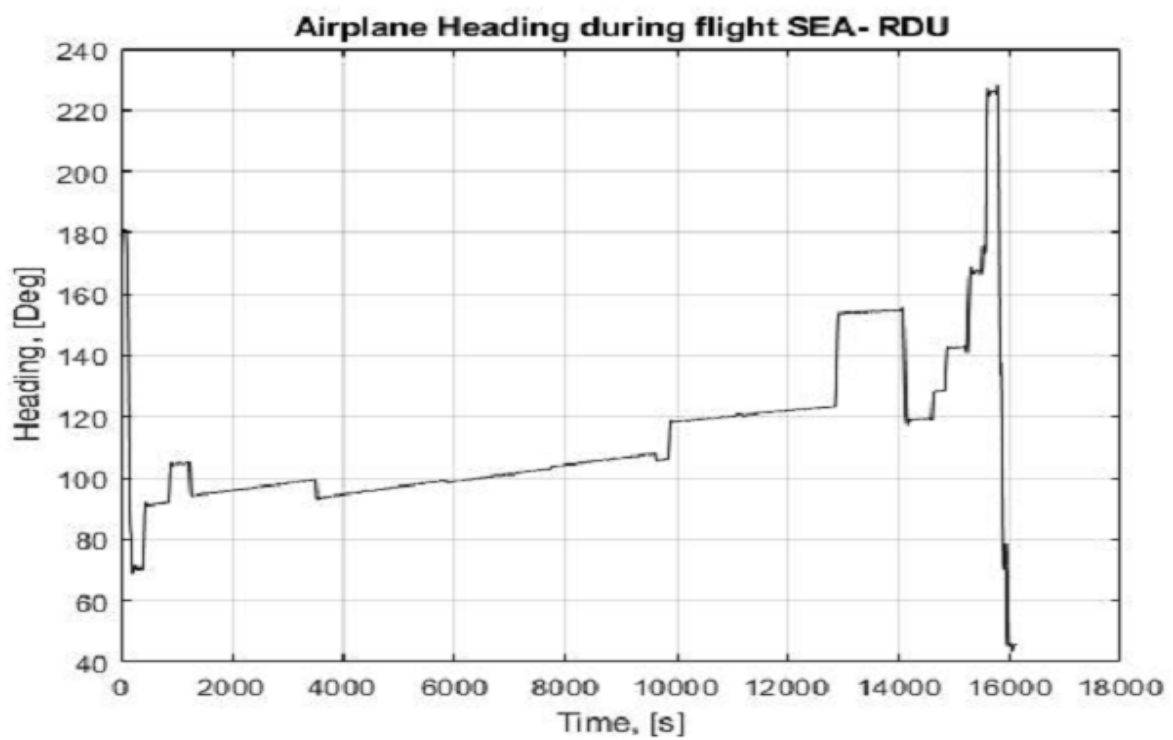


Рис. 4.10. Результати розрахунку курсу для рейсу ASA905 від 07 листопада 2022

## Висновки до четвертого розділу

Поява на повітряних лініях нової, високо ефективною й у той же час усе більше складної авіатехніки закономірно обумовлює зростання обсягу інформації, обробка якої необхідна й для правильної й своєчасної оцінки ризиків безпеки польотів. У зв'язку зі значним обсягом інформації, необхідним для достовірної оцінки тенденцій зміни ризиків безпеки польотів навіть в одному авіапідприємстві, не говорячи вже в цілому по галузі, збір цієї інформації, а в перспективі вироблення рекомендацій з формування УР, повинні бути автоматизовані із залученням сучасних засобів електронно-обчислювальної техніки.

Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані, передані за концепцією ADS-B. Відповідно ідентифікаційний код літака з координатами місцеположення та барометричною висотою архівується у глобальних базах даних. Одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис. програмно-керованих приймачів сигналів ADS-B, розміщених по всій планеті, забезпечують обчислювальні кластери компаній Flightradar24 та Flightaware.



## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### **5.1. Інструкція з охорони праці для оператора наземних засобів керування безпілотним літальним апаратом**

5.1.1. До самостійної роботи з безпілотним повітряним судном, далі БПС, допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли теоретичне та практичне навчання, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, пройшли вступний та первинний інструктажі на робочому місці з охорони праці, та прийомів роботи, які пройшли стажування на робочому місці та перевірку знань вимог охорони праці, а також навчання правил пожежної безпеки та електробезпеки з подальшою перевіркою знань правил пожежної безпеки та електробезпеки в обсязі посадових обов'язків із присвоєнням I групи [47].

5.1.2. Працюючи з БПС працівник зобов'язаний:

— знати та дотримуватись правила та норми охорони праці та виробничої санітарії, правила та норми з охорони навколишнього середовища, правила внутрішнього трудового розпорядку;

— дбати про особисту безпеку та особисте здоров'я;

— виконувати вимоги пожежо-безпеки і вибухо-безпеки, знати сигнали оповіщення про пожежу, порядок дій при ньому, місця розташування засобів пожежогасіння та вміти користуватися ними;

— знати розташування аптечки і вміти надавати першу допомогу потерпілому;

— знати порядок дій у разі виникнення надзвичайних подій;

— знати пристрій, принцип роботи, правила експлуатації та обслуговування БПС, що застосовується[47].

5.1.3. Під час роботи з БПС працівник повинен проходити:

- повторний інструктаж з охорони праці на робочому місці не рідше 1 разу на 3 місяці;
- Періодичний медичний огляд 1 раз на рік;
- чергову перевірку знань вимог охорони праці не рідше ніж 1 раз на рік[47].

5.1.4. Працівник зобов'язаний виконувати лише ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником робіт. Не допускається доручати свою роботу іншим працівникам та допускати на робоче місце сторонніх осіб[47].

5.1.5. Присутність сторонніх осіб на робочому просторі обладнання під час роботи не допускається[47].

5.1.6. Робота з БПС здійснюється відповідно до технічної документації організації-розробника[47].

5.1.7. При роботі з БПС на працівника можлива дія наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- рухомі транспортні засоби;
- гострі кромки, задирки, шорсткості поверхні БПС;
- несприятливі погодні умови (дощ, сніг, вітер, мороз, спека тощо);
- можливість падіння (підсковзування, спотикання, попадання ноги в технічну колію та ями, що тягне за собою вивих суглобів);
- електричний струм, шлях якого у разі замикання, може пройти через тіло людини;
- фізичні навантаження (при тривалій роботі на ногах, складання, розкладання та транспортування БПС);
- недостатня освітленість робочої зони (при роботі в темний час доби або в несприятливих погодних умовах) [47].

5.1.8. За необхідності працівник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту відповідно до чинних норм видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) [47].

5.1.9. Спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші ЗІЗ, що видаються, повинні відповідати характеру та умовам роботи, забезпечувати безпеку праці, мати сертифікат відповідності або декларацію[47].

5.1.10. Засоби індивідуального захисту, на які немає технічної документації, а також з терміном придатності до застосування, що минув — не допускаються[47].

5.1.11. Використовувати спецодяг та інші ЗІЗ для інших цілей, ніж основна робота — забороняється[47].

5.1.12. Працюючи разом із іншими працівниками необхідно узгоджувати свої взаємні дії[47].

5.1.13. Під час роботи не відволікатися на сторонні справи та розмови та не відволікати інших працівників[47].

5.1.14. Працівник повинен знати та дотримуватися правил особистої гігієни. Приймати їжу, курити та відпочивати лише у спеціально відведених для цього приміщеннях[47].

5.1.15. Забороняється вживання спиртних напоїв та поява на роботі у нетверезому стані, у стані наркотичного або токсичного сп'яніння[47].

5.1.16. Працівник зобов'язаний негайно повідомляти свого керівника про будь-яку ситуацію, що загрожує життю та здоров'ю людей, про кожен нещасний випадок, що стався на виробництві, або про погіршення свого здоров'я, у тому числі про появу гострого професійного захворювання (отруєння), а також про всі помічені несправності обладнання і пристроїв[47].

5.1.17. Вимоги цієї інструкції з охорони праці є обов'язковими під час роботи з БПС. Невиконання цих вимог розглядається як порушення трудової дисципліни та тягне за собою відповідальність відповідно до чинного законодавства України[47].

## **5.2. Вимоги охорони праці перед початком роботи**

5.2.1. Працівник має бути одягнений з урахуванням погодних умов. Одяг повинен бути відповідного розміру та бути зручним для виконання посадових обов'язків. Взуття має бути легким і зручним[47].

5.2.2. Перевірити справність ЗІЗ на відсутність зовнішніх пошкоджень, надягти справні ЗІЗ, що відповідають роботі[47].

5.2.3. Отримати завдання безпосереднього керівника, пройти інструктаж[47].

5.2.4. Переконайтесь у достатності освітлення робочої зони, особливо у темний час доби.

5.2.5. Переконайтесь у тому, що співробітники перебувають на достатній відстані від БПС, щоб забезпечити безпеку.

5.2.6. Наявність аптечки для першої допомоги, первинних засобів пожежогасіння.

5.2.7. Паркувати авто на безпечній відстані від ліній електропередач і не в жодному разі під ними.

5.2.8. Про всі недоліки, а також несправності обладнання та захисних засобів, виявлених при огляді на робочому місці, доповісти керівнику для вжиття заходів щодо їх повного усунення або заміни.

5.2.9. Працівник повинен особисто переконатися в тому, що всі необхідні заходи для забезпечення безпеки виконані.

5.2.10. При виявленні будь-яких несправностей повідомити про це свого безпосереднього керівника і до їх усунення не приступати до роботи.

### **5.3. Вимоги охорони праці під час роботи**

5.3.1. Виконувати правилам внутрішнього трудового розпорядку, інші документи, що регламентують питання дисципліни праці[47].

5.3.2. Виконувати лише ту роботу, за якою пройдено навчання, отримано інструктаж з охорони праці та до якої допущено особою, яка відповідає за безпечне виконання робіт[47].

5.3.3. Не допускати до своєї роботи ненавчених та сторонніх осіб[47].

5.3.4. Суворо дотримуватись вимог безпеки, викладені в експлуатаційній документації заводу-виробника БПС[47].

5.3.5. Під час роботи працівнику слід бути уважним, не відволікатися від виконання своїх обов'язків[47].

5.3.6. Під час роботи працівник повинен бути ввічливим, поводитися спокійно та витримано, уникати конфліктних ситуацій, які можуть викликати нервово-емоційну напругу та позначитися на безпеці праці[47].

5.3.7. БПС є електронним пристроєм зі складною системою управління і може бути серйозним джерелом небезпеки для самого працівника та оточуючих[47].

5.3.8. БПС не рекомендується використовувати у місцях масового скупчення людей. Мінімальна безпечна відстань від БПС до людини становить щонайменше 15 метрів[47].

5.3.9. БПС рекомендується використовувати у відкритому просторі[47].

5.3.10. Забороняється працювати з БПС вночі, якщо він не має світлодіодного навігаційного підсвічування, а також за будь-яких інших обставин, за яких візуальний контроль може бути утруднений[47].

5.3.11. Забороняється працювати з технічно несправним БПС, у якому виявлено поломки конструкції, механізмів та пристроїв, а також різні

неполадки в процесі використання електронної системи управління, у тому числі, що виникають внаслідок радіоперешкод[47].

5.3.12. У процесі роботи деякі елементи, особливо контактна група між батареєю і БПС можуть нагріватися, тому слід дотримуватися запобіжних заходів, щоб уникнути опіків[47].

5.3.13. При експлуатації акумуляторної батареї для БПС дотримуватись наступних вимог безпеки:

— використовувати тільки зарядний пристрій, що постачається в комплекті, або рекомендований заводом-виробником БПС;

— заряджати акумулятор на вогнетривкій поверхні у пожежобезпечному та освітленому місці та на безпечній відстані від обладнання та транспортних засобів;

— не зберігати і не заряджати акумулятори під прямим сонячним світлом.

5.3.14. Якщо в процесі експлуатації БПС акумулятор надмірно нагрівається, необхідно замінити його на новий[47].

5.3.15. Перед тривалим зберіганням БПС, переїздом та складанням, розкладанням БПС слід виймати батареї[47].

5.3.16. Використовувати для передавача елементи живлення одного типу та виробника з однаковим рівнем заряду. Недотримання цієї умови може спричинити повну втрату управління БПС.

5.3.17. Щоб уникнути травм, не торкайтеся пропелерів та інших деталей, що обертаються.

5.3.18. Не кидати, оберегати від ударів БПС та його пульт управління.

5.3.19. Забруднений БПС слід очищати лише сухою чистою м'якою тканиною при вилученій батареї.

5.3.20. Під час роботи, перебуваючи на проїжджій частині або біля неї, працівнику необхідно виявляти особливу увагу до автотранспорту, що рухається, не поспішати.

5.3.21. Працівнику потрібно бути уважним і контролювати зміну навколишнього оточення, особливо в несприятливих погодних умовах (дощ, роса, снігопад, ожеледиця тощо) та у темний час доби.

5.3.22. Слід пам'ятати, що в умовах підвищеного вуличного шуму звукові сигнали і шум працюючого двигуна автомобіля, що наближається, можуть бути не почуті.

5.3.23. Працівнику слід дотримуватись обережності та бути уважним поблизу зон підвищеної небезпеки (при знаходженні на території діючого виробництва, поблизу електричних комунікацій та ін.), а також на проїжджій частині доріг, звертати увагу на нерівності та слизькі місця, перешкоди (труби, ящики та інші предмети).

5.3.24. Під час виконанням робіт працівнику забороняється:

- відлучатися з робочого місця без відома безпосереднього керівника;
- залишати без нагляду БПС;
- користуватися відкритим вогнем.

5.3.25. Не використовувати для сидіння випадкові предмети (ящики, коробки, тощо), обладнання та пристрої.

5.3.26. Не вживати їжі на робочому місці.

5.3.27. У разі поганого самопочуття припинити роботу, повідомити свого керівника і звернутися до лікаря.

## **5.4. Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях**

5.4.1. У разі виникнення поломки та відмов БПС, що загрожує аварією на робочому місці:

- припинити його експлуатацію, доповісти безпосередньому керівнику та діяти відповідно до отриманих вказівок.

5.4.2. В аварійній обстановці:

— повідомити про небезпеку оточуючих людей, доповісти безпосередньому керівнику про те, що сталося, і діяти відповідно до плану ліквідації аварій.

5.4.3. Забороняється застосовувати воду та пінні вогнегасники для гасіння електропроводок та обладнання під напругою, оскільки піна є гарним провідником електричного струму. Для цих цілей використовуються вуглекислотні та порошкові вогнегасники.

5.4.4. При виявленні диму та виникненні пожежі негайно оголосити пожежну тривогу, вжити заходів до ліквідації пожежі за допомогою наявних первинних засобів пожежогасіння, повідомити свого керівника. За необхідності викликати пожежну бригаду за телефоном 101.

5.4.5. В умовах задимлення та наявності вогню у приміщенні пересуватися вздовж стін, зігнувшись або повзком; для полегшення дихання рот і ніс прикрити хусткою (тканиною), змоченою водою. Через полум'я пересуватися, накрившись з головою верхнім одягом або покривалом, по можливості облитися водою, одяг зірвати або погасити.

5.4.6. У разі нещасного випадку негайно звільнити потерпілого від дії травмуючого фактора, дотримуючись власної безпеки, надати потерпілому першу допомогу, при необхідності викликати бригаду швидкої допомоги за телефоном 103. По можливості зберегти обстановку, при якій стався нещасний випадок, якщо це не загрожує життю та здоров'ю оточення для проведення розслідування причин виникнення нещасного випадку або зафіксувати на фото або відео. Повідомити свого керівника та спеціаліста з охорони праці.

5.4.7. У разі погіршення самопочуття, появи різі в очах, різкому погіршенні видимості, неможливості сфокусувати погляд або навести його на різкість, поява болю в пальцях і кистях рук, посилення серцебиття негайно покинути робоче місце, повідомити про те, що сталося, свого керівника і звернутися до медицини.



## **5.5. Вимоги охорони праці по закінченню роботи**

5.5.1. БПС очистити та здати на зберігання у встановлене місце.

5.5.2. Упорядкувати робочу зону і не залишати робоче обладнання по від'їзду від місця.

5.5.3. Зняти ЗІЗ, оглянути упорядкувати та прибрати у спеціально відведене місце.

5.5.4. Повідомити свого керівника про всі порушення та зауваження, виявлені в процесі роботи, та вжиті заходи щодо їх усунення.

## **5.6. Інструкція з безпеки польотів**

5.6.1. Перед тим, як приступити до експлуатації, пройдіть курси з керування безпілотним повітряним судном та отримайте відповідний сертифікат оператора. Користувачам, які не пройшли навчання, не дозволяється експлуатація даного продукту.

5.6.2. Переконайтеся, що всі польоти виконуються на відкритій та знайомій території, уникайте перешкод, скупчень людей та вивчіть усі можливі ризики.

5.6.3. Не керуйте безпілотним повітряним судном у втомленому чи нетверезому стані.

5.6.4. Остерігайтеся джерел тепла, щоб уникнути пошкодження електронного обладнання або інших компонентів.

5.6.5. Не експлуатуйте безпілотне повітряне судно самотужки на попередніх етапах навчання. Перед початком роботи рекомендується звернутися по допомогу до досвідченого оператора.

5.6.6. Проведіть передполітну перевірку, щоб переконатися у справності пристрою та відсутності частотних перешкод.

5.6.7. Тримайтесь щонайменше за 15 метрів від безпілотного повітряного судна в робочому стані і не торкайтеся при цьому пропелерів частинами тіла або будь-якими предметами.

5.6.8. Рекомендація: з міркувань безпеки, не рекомендується підходити на відстань менше 10 метрів під час передполітної перевірки безпілотного повітряного судна, двигуни якого працюють в режимі перевірки.

5.6.9. Строго забороняється проводити випробування ефективності опції подолання перешкод на людях, тварин та інших об'єктах. Строго заборонено створювати перешкоди при польоті, заважати роботі або торкатися безпілотного повітряного судна, що працює, частинами тіла або предметами.

5.6.10. негайно зупиніть роботу та здійсніть політ на базу у разі значного погіршення погодних умов, таких як дощ, сніг, град тощо.

5.6.11. Строго дотримуйтесь законів, нормативів та правил експлуатації до безпілотного повітряного судна, а також експлуатуйте тільки в межах допустимої висоти польоту та діапазоні допустимих законом.

5.6.12. Літайте в місцях далеко від будівель та інших перешкод. Не літайте над або поряд з великими скупченнями людей.

5.6.13. Переконайтеся, що ваша діяльність не порушує будь-які прийняті закони або постанову, і що ви отримали всі відповідні попередні дозволи. Перед польотом.

5.6.14. Обов'язково перевірте всі наступні вимоги щодо відповідності:

— Акумулятори пульта дистанційного керування та безпілотного повітряного судна повністю заряджені.

— шасі та навісне обладнання надійно закріплені.

— компас відкалібрований після того, як у додатку буде запропоновано зробити це.

5.6.15. Постійно підтримуйте візуальний політ у межах прямої видимості (VLOS) безпілотного повітряного судна.

5.6.16. Не відповідайте на вхідні дзвінки під час польоту. Не запускайте пристрій у стані наркотичного сп'яніння.

5.6.17. Якщо з'являється попередження про низький заряд акумулятора, посадить безпілотне повітряне судно в безпечному місці.

5.6.18. Якщо модуль радара не може правильно працювати в робочому середовищі безпілотного повітряного судна, не зможе уникнути перешкод під час повернення додому (RTH). Все, що можна відрегулювати, - це швидкість польоту та висоту у бік збільшення, поки пульт дистанційного керування все ще підключений.

5.6.19. Не використовуйте старі, тріснуті або зламані пропелери.

## **5.7. Охорона навколишнього середовища**

### **5.7.1. Державні санітарні норми випромінювання в Україні, як заходи захисту навколишнього середовища**

Відповідно до вимог Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Положення про державний санітарно-епідеміологічний нагляд в Україні» та «Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», державний санітарно-епідеміологічний нагляд за базовими станціями мобільного стільникового зв'язку та іншими радіотехнічними об'єктами здійснюється на стадіях погодження місця їх розташування, експертизи проектів будівництва, прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів та протягом усього періоду експлуатації.

З метою захисту здоров'я населення України від впливу електромагнітних випромінювань наказом Міністерства охорони здоров'я України №239 від 01.08.96 р. були розроблені та затверджені «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» (далі –

Санітарні норми). Дані норми були розроблені Лабораторією гігієни електромагнітних випромінювань Інституту гігієни і медичної екології ім. А.Н. Марзеєва Академії медичних наук України. Українські санітарні норми разом із методичними вказівками до них дозволяють суворо регламентувати умови розміщення та експлуатації базових станцій мобільного стільникового зв'язку і тим самим забезпечити належний захист здоров'я населення від впливу електромагнітних полів, що виникають у навколишньому середовищі. Відповідно до Санітарних норм, рівні електромагнітного поля, що створюються базовими станціями мобільного стільникового зв'язку на території, призначеній для забудови, у приміщеннях житлових і громадських будинків, лікувально-профілактичних, оздоровчих, дитячих дошкільних і шкільних закладів, у будинках інвалідів і людей похилого віку, зонах відпочинку, на дитячих і спортивних майданчиках тощо не повинні перевищувати гранично допустимий рівень – 2,5 мкВт/см<sup>2</sup>. Слід зазначити, що вказаний рівень набагато жорсткіший, ніж норми, встановлені іншими країнами Європи та Америки. В Україні встановлення будь-якого радіотехнічного об'єкта, що випромінює в навколишнє середовище електромагнітну енергію, повинно погоджуватися з державною санітарно-епідеміологічною службою.

Вивченням питань впливу електромагнітних випромінювань на здоров'я людини займається велика кількість державних і недержавних науково-дослідних установ, а також міжнародні організації, основні з яких – Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) та Міжнародний комітет із неіонізуючого випромінювання. Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, на сьогодні відсутні достовірні дані, які б підтверджували, що малоінтенсивне електромагнітне випромінювання від базових станцій стільникового зв'язку, що розташовані та експлуатуються у відповідності до вимог санітарного законодавства, може завдавати шкоди здоров'ю людини[43].

### **5.7.2. Вплив електромагнітного випромінювання на організм люди**

Група британських вчених з Ессекського університету провела експеримент на 56 добровольцях, які скаржилися на хворобливу чутливість до електромагнітного випромінювання (у більшості з них поряд із будинками

знаходилися базові станції). В ході експерименту було встановлено, що люди, які скаржаться на підвищену чутливість до електромагнітного випромінювання, не можуть чітко визначити, працює чи не працює в конкретний момент передавач базової станції. Коли автори експерименту говорили їм, що передавач увімкнений, респонденти відразу починали помічати в себе різні симптоми (одні – головний біль, інші – нудоту, дехто відзначав погіршення зору), хоча насправді передавач залишався вимкненим. Інколи вчені робили вигляд, що вимикають базову станцію, і тоді всі симптоми у волонтерів відразу зникали. Для експерименту були використані базові станції, що працюють у GSM та UMTS – стандартах. Таким чином, проведений експеримент дозволив стверджувати, що проблема впливу електромагнітного випромінювання на здоров'я населення має здебільшого психологічний характер.

Слід зазначити, що повідомлення в засобах масової інформації про виявлення випадків масового захворювання на рак населення, яке проживає поблизу місць встановлення базових станцій, викликали ряд протестів та сприяли зростанню соціальної напруги. На сьогоднішній день єдиним науково встановленим наслідком дії на людину РЧ-сигналів є підвищення температури тіла ( $> 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при дії полів дуже високої напруженості, які існують тільки на деяких промислових підприємствах (наприклад, поля, що випромінюються РЧ-нагрівачами) [13]. Коли енергія радіохвиль поглинається органами, може виникнути ефект нагріву, залежний від інтенсивності дії. Рівень нагріву, що виникає від дії радіохвиль в межах встановлених рівнів настільки низький, що нормальні для тіла процеси терморегуляції фактично розсіюють будь-яке тепло, яке може бути вироблене.

Всі встановлені на сьогоднішній день результати дії РЧ-випромінювання на здоров'я пов'язані з нагрівом. РЧ-поля є неіонізуючими і не руйнують молекулярну структуру біологічного матеріалу. Так звані «нетеплові» результати дії були і продовжують бути предметом оцінки. До теперішнього часу, думка експертів з охорони здоров'я полягає в тому, що література про результати нетеплової дії є нечисленною і суперечливою і їх зв'язок із здоров'ям людини також сумнівний для використання даної інформації як підстави для встановлення меж дії електромагнітних полів на людину. Глибина, на яку радіохвилі проникають в опромінювані тканини, залежить від використовуваної частоти.

Ніякі підтвержені дослідження до теперішнього часу не показали несприятливих для здоров'я наслідків при рівнях дії нижче або відповідних загальноприйнятим. Фактично, при рівних рівнях дії РЧ-сигналів організм людини поглинає в п'ять разів більше сигналів від радіоприймача або телевізора у зв'язку з їх нижчою частотою, ніж від базових станцій. Це пояснюється тим, що частоти, використовувані в радіомовленні (близько 100 МГц) і телебаченні (близько 300 - 400 МГц), нижче за частоти, використовувані в мобільному телефонному зв'язку (900 МГц і 1800 МГц). До того ж, станції радіо- і телебачення діють вже більше 50 років, і яких-небудь несприятливих дій на здоров'ї за цей час не виявлено. Всесвітня Організація Охорони Здоров'я заснувала спеціальний Міжнародний проект по вивченню електромагнітних полів та їх впливу на здоров'я людини. Провідні галузеві міжнародні організації, такі як Міжнародна комісія із захисту від неіонізуючого випромінювання (МКЗНВ), Міжнародне агентство з дослідження раку (МАДР), Інститут інженерів з електротехніки і радіоелектроніки (ІЕР) підходять до вивчення даних проблем максимально серйозно. Зокрема, ВООЗ, реалізуючи Міжнародний проект по електромагнітних полях (ЕМП), розробила програму з моніторингу наукової літератури про це явище для оцінки його наслідків для здоров'я в результаті дії інтенсивністю про 0 до 300 ГГц з метою надання рекомендацій відносно можливих небезпек і визначення відповідних заходів по їх зменшенню. Особливо фахівців цікавлять поля радіочастотного діапазону, які створюються мобільними терміналами або базовими станціями мобільного зв'язку.

Після всесторонніх міжнародних оглядів Міжнародний проект по ЕМП стимулював проведення досліджень для заповнення прогалін в знаннях. У відповідь на це національні уряди і дослідницькі інститути вклали більше 250 мільйонів доларів в дослідження впливу електромагнітних полів за останніх 11 років [14]. Дані дослідження є масштабним науково-практичним завданням. Це пов'язано з тим, що складно відрізнити можливі наслідки дії дуже низьких сигналів, що випускаються базовими станціями, від наслідків дії інших сильніших РЧ-сигналів в навколишньому середовищі. В більшості випадків ученими різних країн досліджувалася дія ЕМП на користувачів мобільних телефонів. Дослідження мозкових хвиль, сприйняття і поведінки людей і тварин після дії РЧ-полів, таких як поля, що створюються мобільними

телефонами, не виявили несприятливих наслідків для здоров'я. Під час цих досліджень рівні дії РЧ-сигналів приблизно в 1000 разів перевищували рівні дії на населення сигналів базових станцій зв'язку або бездротових мереж. Яких-небудь послідовних даних про порушення сну або серцево-судинних функцій не зареєстровано. Особливу стурбованість людей викликає неперевірена інформація про випадки захворювання раком в районах, прилеглих до базових станцій мобільного зв'язку. З географічної точки зору випадки захворювання раком, в яких би то не було популяціях, розподілені нерівномірно.

Враховуючи той факт, що людину оточує велика кількість базових станцій зв'язку, можливе випадкове виникнення захворювань раком в місцях, розташованих поряд з базовими станціями. Більш того, часто зазначаються різні типи раку, які не мають загальних ознак і, тому, навряд чи можуть мати загальну причину. Враховуючи дуже низькі рівні дії і отримані на сьогоднішній день результати досліджень, можна відзначити, що не існує яких-небудь переконливих наукових даних, підтверджуючих, що слабкі РЧ-сигнали, що випускаються базовими станціями і бездротовими мережами, приводять до несприятливих наслідків для здоров'я[43].

### **5.7.3. Заходи щодо забезпечення екологічної безпеки**

З огляду на те, що надфонові електромагнітні хвилі здатні несприятливо впливати на фізіологічні функції людини та спричиняти патологічні розлади і захворювання, не треба нехтувати можливою потенційною загрозою будь-якого додаткового опромінення, зокрема того, джерелом якого є стільниковий зв'язок. Користуючись ним, треба дотримуватися певних профілактичних заходів:

- звертайте увагу на таку технічну характеристику мобільного терміналу, як коефіцієнт поглинання випромінювання (SAR). Відносно безпечними вважаються прилади, які мають SAR не вище 1,0, краще до 0,5 - 0,6;

- використовуйте спеціальні малогабаритні захисні пристрої (вставки тощо), які зменшують потужність випромінювання приладів безпосередньо на тіло;

- без нагальної потреби не закріплюйте ввімкнені пристрої на поясі, не тримайте їх у кишенях, використовуйте для цього кейси, сумки тощо, які тримаєте в руках;

Дотримання цих простих рекомендацій значно зменшить потенційну загрозу негативного впливу випромінювання на здоров'я. Випромінювання антен базових станцій практично ніякого впливу на здоров'я людини не мають. Однак час постійного користування мобільним терміналом дорослою людиною в екранованих приміщеннях (кабіна, салон автомобіля, мікроавтобуса тощо) має бути обмеженим до 15 хвилин на добу.

Пам'ятайте, що ваш приймач телефон увесь час перебуває в активному стані очікування радіозв'язку, і тому не носіть його у кишені чи на грудях як медальйон, особливо це стосується молодих людей, вагітних жінок і дітей.

При користуванні терміналом не затуляйте задню кришку його корпусу долонею або пальцями руки. Наше тіло сильно поглинає електромагнітну хвилю, ослаблюючи сигнал від базової станції, що змушує прилади працювати з підвищеною потужністю[43].

## **Висновки до п'ятого розділу**

Описано базові інструкції щодо роботи з БПЛА, враховані особливості підготовки нормативної бази.

Для уникнення травматизму, порушення правильності роботи, надзвичайних ситуацій, професійних захворювань та виходу обладнання з ладу, повинна дотримуватись чітких інструкцій. До самостійного обслуговування електроустановок допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження і не мають медичних протипоказань, пройшли спеціальне навчання, атестацію, пройшли вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.

Отже, оператор БПЛА зобов'язаний знати і уміти застосовувати на практиці правила безпеки в обсязі, потрібному для роботи, яка виконується.



## ВИСНОВКИ

Забезпечення безпеки діяльності суспільства – складна проблема, яка вимагає вирішення комплексу різномірних завдань і залучення технічних засобів. На сьогодні розроблено широкий арсенал методів запобігання НС і їх можливих наслідків.

Адже впродовж останнього десятиріччя розвиваються й набувають поширення нові способи оперативного контролю із залученням пілотованих і не пілотованих авіаційних засобів з використанням географічних інформаційних технологій, моніторингово-сигнальних передавачів і сенсорних мереж.

У першому розділі “Аналіз предметної області” в результаті огляду безпілотних літальних апаратів було розглянуто їх класифікацію, типи та функціональні можливості. Досліджено перспективи виробництва і використання українських безпілотних літальних апаратів, а також правово-нормативну базу, державне регулювання виконання авіаційних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів.

У другому розділі “Ультразвукова товщинометрія як один із способів дослідження товщини і цілісності матеріалів” розглянули ультразвукову товщинометрію як один із способів неруйнівного контролю, його суть і доцільність застосування; принцип роботи приладу для ультразвукової товщинометрії.

У третьому розділі “Аналіз БПЛА різних типів для ультразвукової товщинометрії” на прикладі Elios 2, Voliro T, ЛА на базі Tarot Iron Man 680 визначили основні характеристики БПЛА для ультразвукової товщинометрії. Розглянули комплекс сучасних апаратно-програмних засобів управління БПЛА, до складу якого входить бортова та наземна апаратура, а також спеціальне програмне забезпечення. Розглянули найбільш функціональні БПЛА у сфері НК, оскільки вони можуть виконувати набагато більше задач та не потребують втручання оператора і спеціального кабеля. Створення БПЛА є доволі складним

процесом, де можуть виникати непередбачені складнощі. Для того, щоб не витратити зайві ресурси, моделювання та тестування варто проводити програмним шляхом.

У четвертому розділі “Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності” було проаналізовано, що у зв'язку зі значним обсягом інформації, необхідним для достовірної оцінки тенденцій зміни ризиків безпеки польотів, збір цієї інформації, а в перспективі вироблення рекомендацій з формування УР, повинні бути автоматизовані із залученням сучасних засобів електронно-обчислювальної техніки. Наземна мережа програмно керованих приймачів приймає і декодує дані, передані за концепцією ADS-B. Програмно-керовані приймачі сигналів ADS-B, розміщені по всій планеті, забезпечують обчислювальні кластери компаній Flightradar24 та Flightaware.

У п'ятому розділі “Охорона праці” визначено вимоги і правила для оператора наземних засобів керування безпілотним літальним апаратом. Адже зрозуміло, що розвиток застосування БПЛА в Україні потребує не тільки удосконалення технічних засобів, а й вивчення особливостей діяльності операторів керування БПЛА, розробки програм їх підготовки, професійного добору, вивчення шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

Отже, у сучасному світі надзвичайно велику роль відіграють безпілотні літальні апарати. В недалекому майбутньому безпілотна авіація займе головне місце в порівнянні з пілотованою. Це можна пояснити тим, що при використанні безпілотників не потрібні людські ресурси, а отже ніхто не піддає своє життя небезпеці, а також тим, що у БПЛА дуже широкий спектр застосування в оборонній промисловості, в галузі безпеки, в сфері охорони навколишнього середовища, здоров'я, розваг і багатьох інших сферах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азаров І. Використання безпілотного літального апарата як засобу дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій / І. Азаров, В. Сидоренко, Ю. Середа // Безпека життєдіяльності. – 2015. – № 2. – С.30.
2. Аналіз доцільності створення та застосування багатофункціональних безпілотних авіаційних комплексів цивільного призначення / А. В. Приймак, Я. В. Дар'їн, Д. М. Стрюк, А. А. Слободянюк // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 3. – С. 142-145.
3. Бабак В. П. Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів / В. П. Бабак // Промышленная теплотехника. – 2017. – Т. 39, № 2. – С.25-30.
4. Бабак С. В. Особливості практичного використання автономних діагностичних комплексів для теплового контролю повітряних ліній електропередачі / С. В. Бабак, М. В. Мислович // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 1. – С.73-80.
5. Білотілов В. Н. Інноваційна технологія “АКВА-МТМ” інспектування та забезпечення надійності трубопроводів нафтогазових родовищ шельфу з урахуванням стану металу і механічних напружень / В. Н. Білотілов, Л. А. Хуснутдинов. // 36. – 2018. – №4. – С. 193–194.
6. БПЛА: не тільки для війни // Авіатор України. – 2015. – № 1. – С.6.
7. Гребеников А. Г. Аналіз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів / А. Г. Гребеников, М. М. Проценко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2012. – № 2. – С.113-117.
8. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів [Текст] : дис. кан. техн. наук: 05.13.06 ; / О. М. Гусак ; Львів. держ. ун-т безп. жит-сті. – Львів, 2018. – 187 с.

9. Дослідження методів підвищення достовірності інформації сучасних безпілотних авіаційних комплексів / Сергій Зайцев, Ольга Башинська, Юрій Камак, Борис Горлинський // Технічні науки та технології. – 2016. – № 4. – С. 97–106.
10. Єфремов О. В. Методика вибору раціонального типу і варіанта обладнання безпілотних літальних апаратів для виконання завдань / О. В. Єфремов, О. А. Коршець // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – № 5. – С. 3–7.
11. Ильин В. Беспилотные летательные аппараты: состояние и перспективы развития / В. Ильин // Вестник авиации и космонавтики. – 2001. - № 6. – С. 16-25.
12. Книш Б. П. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів / Б. П. Книш, Я. А. Кулик, М. В. Барабан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. - № 3. – С. 246-252.
13. Крицький Д. М. Модель і методи управління змістом проекту створення безпілотної авіаційної техніки цивільного застосування : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : [спец.] 05.13.22 “Управління проектами та програмами” / Крицький Дмитро Миколайович ; МОН України, Нац. аерокосмічний ун-т імені М. Є. Жуковського “Харківський авіаційний ін-т”. – Х., 2016. – 21 с.
14. Куликовская О. Е. Оптимальная область применения современных технологий – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) / О. Е. Куликовская, Ю. Ю. Атаманенко // Качество минерального сырья : сборник научных трудов / Акад. горных наук Украины, ГВУЗ “Криворожский нац. ун-т”, Исполнительный комитет Криворожского городского совета [и др.]. - Кривой Рог : ФЛП Чернявский Д. А., 2017. – Т. 1. – С. 617–623.

15. Куц Ю. В. Фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії / Ю. В. Куц, Ю. А. Олійник, О. Д. Близнюк, О. В. Монченко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 2013. - № 1. - С. 23-27.
16. Моделі та міри у вимірюваннях: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Єременко, Ю.В. Куц, М.В. Мислович, Л.М. Щербак; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака. – К.: Наукова думка, 2019. – 192 с.
17. Нижник Ю.М. Застосування безпілотних літальних апаратів у неруйнівному контролі // Наукові вісті КПП. – 2020. – № 2. – С. 82-87.
18. Олійник, Ю. А. Методи ультразвукової товщинометрії з використанням фазоманіпульованих сигналів та їх реалізація : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин / Олійник Юрій Анатолійович. – Київ, 2019. – 175 с.
19. Попов А. Ю. Метод стабилизации датчиков телеметрии на беспилотных летательных аппаратах / А. Ю. Попов // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 12. – С.19-23.
20. Пристай А. Застосування безпілотних апаратів для геофізичних досліджень / А. Пристай, Б. Ладанівський // Геофизический журнал. – 2017. – Т. 39, № 2. – С. 109-125.
21. Проблемы создания беспилотных авиационных комплексов в Украине / А. Г. Гребенников, А. Г. Журавский, А. К. Малица [и др.] // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосмич. ун-т им. Н.Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”. – Х. : ХАИ, 2009. – Вып. 42. – С.111-119.
22. Троцюк К.М. Перспективи використання автоматизованих дронів в завданнях неруйнівного контролю // XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»: КПП, 2020. – Вип. 16. – С. 247-249.

- 23.Харченко В. П. Аналіз застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері / В. П. Харченко, Д. Е. Прусов // Вісник Національного авіаційного університету. – 2012. - № 4. – С. 118-130.
- 24.Харченко В.П., Остроумов І.В. Авіоніка. Київ: НАУ, 2013. 281с. ISBN: 978-966-598-573-0.
- 25.Цепляева Т. П. Анализ применения беспилотных комплексов / Т. П. Цепляева, Е. М. Поздышева, А. Г. Поштаренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосмич. ун-т им. Н.Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”. – Х., 2008. – Вып. 39. – С. 149-154.
- 26.Яворовський П., Зібцев С. Про перспективи використання безпілотних літальних апаратів для виявлення лісових пожеж в Україні. – К., НУБіП, – “Лісовий і мисливський журнал”, вип. від 26.02.2020.
- 27.Яровий О. В. Системи управління безпілотними літальними апаратами для здійснення моніторингу наземних об’єктів / О. В. Яровий // Системи управління, навігації та зв’язку. – 2018. – № 3. – С. 33-38.
- 28.Яценко В.О. Інтелектуальні роботизовані системи в забезпеченні процесів життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу - К.- Математичні машини і системи, 2020, № 1 – С.17.
- 29.Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Outliers detection in Unmanned Aerial System data. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2021. P. 591-594..
- 30.Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. № 367. P. 297-310 DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5\_26.

31. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. *Aviation*. 2022. № 26(1). P. 1-10 DOI: 10.3846/aviation.2022.16589.
32. Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S. An airspace analysis according to area navigation requirements. *Aviation*. 2019. № 23(2). P. 36-42 DOI: 10.3846/aviation.2019.10302 .
33. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Statistical Analysis and Flight Route Extraction from Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Data. 2022 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2022. P. 1-9. DOI: 10.1109/ICNS54818.2022.9771515.
34. Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322-334.
35. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Probability Estimation of Aircraft Departures and Arrivals Delays. Gervasi O. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science. 2021. № 12950. P. 363-377 DOI: 10.1007/978-3-030-86960-1\_26 .
36. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. *International Encyclopedia of Transportation*. vol. 2. 4569 p. UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. DOI: 10.1016/B978-0-08-102671-7.10150-2. ISBN: 9780081026717.
37. Flightaware. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс]. URL : <https://flightaware.com/adsb/>
38. Software for Air Navigation analysis. Visualization of airplane trajectory based on ADS-B data messages. [Електронний ресурс]. URL : [https://www.ostroumov.sciary.com/codes\\_airplane-trajectory-visualization](https://www.ostroumov.sciary.com/codes_airplane-trajectory-visualization)

39. Czapaj-Atlas R., Dudek B.: Drony, mini- i mikrodrony – przegląd obszarów zastosowań bezzałogowych statków powietrznych dla potrzeb monitoringu i inspekcji, w szczególności w obszarze energetyki. Energetyka, nr 8/2014 s. 485-492.
40. Ultrasonic Drone Inspections Take NDT Safety to New Heights [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://www.olympus-ims.com/en/insight/ultrasonic-drone-inspections-take-ndt-safety-to-new-heights/>
41. Voliro T [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://voliro.com/case-studies/inside-storage-tank>
42. German Tools Inspection [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://gtinspection.com.ua/>
43. Фармацевтична енциклопедія [Електрон. ресурс] <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/3147/oxorona-navkolishnogo-se-redo-vishha>
44. Огляд правового поля дронів в Україні [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://uprom.info/news/other/oglyad-problemi-vikoristannya-bezpilotnikiv-v-ukrayini/>
45. Українські дрони у небесах [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://voxukraine.org/ukrayinski-droni-u-nebesah-problemi-vikoristannya-bezpilotnikiv-v-ukrayini/>
46. Порядок використання цивільних повітряних дронів (безпілотників) [Електрон. ресурс] Режим доступу: <https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/>
47. Інструкція з охорони праці для оператора наземних засобів керування безпілотним літальним апаратом:  
1 <https://ohoronapraci.com.ua/instructions/656370-instrukciya-z-okhoroni-praci-operatora-nazemnikh-zasobiv-keruvannya>