

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

КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д-р. техн. наук, проф.

_____ В. Ю. Ларін

«—» _____ 2022 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«БЕЗПІЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

**Тема: Багатозадачний безпілотний авіаційний комплекс для реалізацій
функцій захисту рослин рослин**

Виконав: _____ М.О. Пушкарський

Керівник: д-р техн. наук, проф. _____ В.Ю. Ларін

Консультант розділу д-р техн. наук, проф _____ І.В. Остроумов

**Консультант розділу д-р техн. наук, проф _____ Т.Ф.
Шмельова**

**Нормоконтролер д-р техн. наук, проф _____ Т.Ф.
Шмельова**

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

Пушкарський Микита Олександрович

1. Тема дипломної роботи « Багатозадачний безпілотний авіаційний комплекс для реалізацій функцій захисту рослин рослин » 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: дані організацій: Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО), міжнародна асоціація повітряного транспорту (ІАТА).
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз методології авіаційних дистанційних досліджень, аналіз апаратури для реалізацій функцій захисту рослин авіаційного базування, методологічне забезпечення обраних видів дистанційних досліджень, обґрунтування конфігурації безпілотних авіаційних платформ для виконання досліджень; обґрунтування та вибір апаратури корисного навантаження для реалізації дистанційних досліджень за допомогою БАК.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Спектральний коефіцієнт відбиття для зеленого листя, гістограма аномально високих значень оцінених NDVI.

6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підготовка та написання розділу 1 «Аналіз методів та інструментарію авіаційних дистанційних досліджень»	22.10.22-11.1 1.22	Виконав
2	Підготовка та написання розділу 2 «Технічне завдання»	12.10.22-13.1 1.22	Виконав
3	Підготовка та написання розділу 3 «Теоретичні відомості та моделі»	04.10.22-16.1 1.22	Виконав
4	Підготовка та написання розділу 4 «Обґрунтування конфігурацій авіаційних платформ»	17.10.22-03.1 0.22	Виконав
5	Підготовка та написання розділу 5 «Автоматизована обробка»	18.10.22-03.1 0.22	Виконав
6	Підготовка та написання розділу 6 «Охорона праці»	19.10.22-03.1 0.22	Виконав
7	Підготовка та написання висновків до дипломної роботи	14.10.22-16.1 1.22	Виконав
9	Оформлення роботи згідно вимог нормоконтролю	07.11.22-18.1 1.22	Виконав
10	Підготовка презентації та доповіді	15.11.22-24.1 1.22	Виконав

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

Керівник дипломної роботи

(підпис керівника)

Ларін Віталій Юрійович

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис студента)

Пушкарський Микита Олександрович

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Багатозадачний безпілотний авіаційний комплекс для реалізації функцій захисту рослин рослин»: 100 сторінки, 3 таблиць, 33 рисунка, 81 використаних джерела.

Об'єкт дослідження – багатозадачний безпілотний авіаційний комплекс для реалізації функцій захисту рослин рослин

Предмет дослідження – реалізація функцій захисту рослин рослин на основі дистанційно-пілотованих та безпілотних авіаційних комплексів.

Мета дослідження: дослідити особливості захисту рослин рослин за допомогою дистанційно-пілотованих та безпілотних авіаційних комплексів дистанційних досліджень.

В дипломній роботі виконано аналіз та обґрунтування конфігурацій безпілотних авіаційних комплексів для виконання дистанційного оцінювання індексів біомаси рослин, надані рекомендації по організації польотних місій вказаних безпілотних авіаційних комплексів з урахуванням специфіки функціонування дослідницької апаратури корисного навантаження

БПЛА, ТРИХОГРАМА, МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНА ЗЙОМКА, NDVI, ОСАДЖЕННЯ КРАПЕЛЬ ЗЗР.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ВИКОРИСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ДРОНІВ.....	10
1.1 Огляд.....	10
1.2 Використання дронів.....	12
1.3 Переваги використання дронів в аграрній промисловості.....	14
1.4 Проблеми використання дронів у сільськогосподарській промисловості....	15
1.5 Регулювання використання БПЛА у повітряному просторі України.....	15
1.6 Висновок.....	21
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ РОСЛИН ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА	22
2.1 Мультиспектральна зйомка та оцінка врожаю.....	22
2.2 Біологічний метод.....	28
2.2.1 Кукурудзяний метелик: шкідник кукурудзи.....	28
2.2.2 Засоби боротьби з кукурудзяним метеликом європейським.....	29
2.2.3 Трихограма - природний хижак кукурудзяного метелика.....	30
2.2.4 Використання трихограми в сучасному сільському господарстві.....	31
2.2.5 Внесення трихограми дроном.....	32
2.3 Хімічний метод.....	33
2.3.1 Внесення добрив за допомогою БПЛА.....	33
2.3.2 Обприскування дронами.....	34
2.3.3 Застосування БПЛА для внесення добрив та ЗЗР дозволить відмовитися від технологічних колій.....	35
2.3.4 Боротьба з ущільненням ґрунту.....	36
2.4 Висновок.....	38

РОЗДІЛ 3 ПАРАМЕТРИ РОБОТИ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТ ОСАДЖЕННЯ КРАПЕЛЬ ЗЗР, ТА ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	39
3.1 Швидкість польоту.....	39
3.2 Висота польоту.....	41
3.3 Тиск насоса.....	42
3.4 Температура і вологість.....	44
3.5 Процедури польоту у відповідь на навколишній вітер.....	45
3.6 Виконання польоту відповідно до рельєфу або форми рослин.....	46
3.7 Методи покращення ефекту осадження.....	47
3.8 Удосконалення насадок.....	47
3.9 Електростатичні системи розпилення.....	48
3.10 Системи змінного розпилення та системи моніторингу.....	50
3.11 Висновок.....	54
РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ.....	56
4.1. Вхідні дані.....	57
4.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні.....	60
4.3. Інтерполяція траєкторних даних.....	61
4.4. Розрахунок параметрів траєкторії.....	64
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ.....	66
5.1 Розрахунок освітлення приміщення проектувальника апаратури.....	68
5.2 Вимоги щодо електробезпеки, обладнання та організації робочого місця... ..	71
5.3. Розрахунок захисного заземлення робочого місця.....	72
5.4. Державні санітарні норми випромінювання в Україні, як заходи захисту навколишнього середовища.....	77
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85

ВСТУП

За останні два роки дрони допомогли змінити визначення фермерства. Якщо їх використовувати належним чином, вони можуть призвести до підвищення врожайності, вищих економічних прибутків та більш ефективного використання води та праці. Переваги дронів у сільському господарстві численні, це одна з технологій, яка сприяє розвитку точного землеробства. Точне землеробство – це наука про підвищення ефективності, продуктивності, врожайності та прибутковості за допомогою технологій. За прогнозами аналітиків, до кінця 2025 року частка дронів в сільському господарстві складатиме 5 мільярдів доларів.

Безпілотники є потужним інструментом для фермерів і агрономів для оцінки здоров'я своїх культур. За допомогою дронів вони можуть виконувати огляд своїх полів і збирати дані набагато швидше і ефективніше, ніж традиційні методи. Безпілотники дозволять фермерам побачити, наскільки здорові їхні рослини і де їм може знадобитися вода чи поживні речовини, а також чи є якісь шкідники, перш ніж вони вийдуть з-під контролю.

Безпілотники допомагають фермерам економити гроші, дозволяючи їм швидко виявляти проблеми, які могли бути пропущені без використання дрона. Неправильний підхід може призвести до втрати врожаю на тисячі доларів через проблеми, які не були виявлені достатньо рано на місці.

Використання дронів у сільському господарстві є частиною нової тенденції використання передових технологій у сільськогосподарських операціях, які дозволяють фермерам оптимізувати свій робочий процес і використовувати ресурси більш ефективно.

Безпілотники мають широкий спектр застосування в сільському господарстві, однак їхнє головне використання полягає в отриманні дуже детальних даних за допомогою різних датчиків. Потім ці дані можна перетворити на різні типи карт і 3D-моделей території, ці карти потім можна використовувати для аналізу здоров'я врожаю, виявлення захворювань і стресу в рослинах і виявлення проблем зрошення.

Ще одне перспективне використання дронів – це розпилення хімікатів для боротьби з хворобами та шкідниками, а також розселення трихограми та посів насіння. На відміну від традиційної сільськогосподарської наземної техніки, БПЛА не “витоптують” культуру під час обробки поля засобами захисту рослин чим значно підвищують кількість зібраного врожаю. За короткий час дрони значно вплинули на ринок сільського господарства. Але чи це лише мінуща тенденція, чи ринок продовжуватиме рости тією ж експоненціальною траєкторією, як і сьогодні?

Як можна підвищити ефективність використання безпілотників у сільському господарстві.

Як впливає використання БПЛА на викиди вуглецю при вирішенні сільськогосподарських задач порівняно з традиційною технологією захисту рослин?

Чи можливо за допомогою БПЛА реалізувати таку технологію боротьби зі шкідниками яка буде високоефективною і при цьому не використовувати шкідливих хімічних препаратів?

Рішення цих та багатьох інших важливих питань викладено нижче у дипломній роботі.

РОЗДІЛ 1 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ВИКОРИСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ДРОНІВ

1.1 Огляд

Населення швидко зростає, що робить продовольчу безпеку складним завданням. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації (FAO) ООН, понад 815 мільйонів людей хронічно голодують, і 64% хронічно голодуючих знаходяться в Азії. Світ повинен збільшити виробництво продуктів харчування приблизно на 50% до 2050 року, щоб прогодувати дев'ять мільярдів населення [1]. З іншого боку, основних ресурсів для сільськогосподарського виробництва, таких як земля та вода, щодня стає все менше [2], [3]. У дослідженні, проведеному в 2018 році, було виявлено, що 9,2% людей на землі мали надзвичайно серйозні проблеми з доступністю їжі [4]. Будь-яке подальше зменшення кількості їжі призведе до вкрай важкого стану. Також існувала проблема продовольчої безпеки помірного рівня (тобто до 17,2% від загальної кількості населення), що означає, що вони не мали звичайного доступу до поживної та адекватної їжі. Поєднання помірного та крайнього ступенів проблеми з доступністю їжі становить приблизно 26,4% від загальної кількості населення [4].

Мережі рослинництва та постачання продуктів харчування серйозно постраждали від пандемії COVID-19 [5], [6], [7], [8]. Основні потреби в галузі сільського господарства, такі як робоча сила, насіння, добрива та пестициди, не були вчасно доступні багатьом фермерам, що призвело до зниження виробництва [5], [6]. Багато азійських країн знаходяться на стадії розвитку, і вони стикаються з проблемою великої чисельності населення, а їхня аграрна ефективність значно нижча в порівнянні з технологічно розвиненими країнами. Індія стикається з подібною проблемою. Це пов'язано з низькою сільськогосподарською технологією, недостатньою доступністю електроенергії,

некваліфікованими фермерами тощо. Майже 73% населення Індії прямо чи опосередковано залежить від сільського господарства. Індійське землеробство все ще ведеться звичайним способом. Фермери використовують звичайні методи для посіву насіння, компосту та застосування пестицидів тощо [9]. Традиційні методи, які використовуються для обприскування пестицидами та добривами, вимагають більше часу та менш ефективні, тому існує потреба в технологічному прогресі в цьому сегменті [9], [10]. Пандемія COVID-19 дуже ускладнила моніторинг посівів, добрив і обприскування пестицидами для звичайних фермерів [5], [11]. Використання дронів у сільському господарстві є відповідним рішенням для подолання цих труднощів [12]. Використовуючи належну інформацію, зібрану дронами, агрономи, сільські спеціалісти та фермери можуть покращити свою діяльність для збільшення врожайності [13], [14].

Для розумного землеробства та точного землеробства повітряне дистанційне зондування вважається однією з найважливіших технологій. Повітряне дистанційне зондування за допомогою дронів використовує зображення з різними довжинами хвиль і вимірює індекси рослинності, щоб розпізнати кілька умов посівів [15]. В останні десятиліття пілотовані літаки або супутники використовувалися для отримання бажаних зображень, які використовувалися для точного землеробства [16]. Зйомка зображень за допомогою пілотованих літальних апаратів є дуже дорогою справою, і проблема супутникових зображень полягає в тому, що просторова роздільна здатність зображення не є такою хорошою, як бажано, у більшості умов. Крім того, доступність і якість зображень залежить від погодних умов [17], [18]. Удосконалення технологій безпілотних літальних апаратів (БПЛА) і зменшення ваги пристроїв корисного навантаження змінили дистанційне зондування сільськогосподарських культур за допомогою цієї технології. Ця технологія є менш дорогою, економить час і створює зображення високої роздільної здатності неруйнівним способом [19], [20].

Системи моніторингу безпілотниками допомагають фермерам спостерігати за жнивами з повітря. Це дає інформацію, пов'язану з водною системою, різноманітністю ґрунту, шкідниками та грибковими інвазіями. Зображення сільськогосподарських культур, зібрані дронами, містять інформацію в інфрачервоному та візуальному спектральному діапазоні. З цих зображень можна отримати різні характеристики, що дає інформацію про здоров'я рослин у такий спосіб, який неможливо побачити неозброєним оком. Ще однією важливою особливістю цієї технології є її можливість регулярно контролювати врожайність, тобто щотижня або навіть щогодини. Часта доступність інформації про врожай допомагає фермерам вживати коригувальних заходів для кращого управління врожаєм [21] [22] .

Застосування дронів у точному землеробстві можна вивчати на основі пристроїв корисного навантаження. Корисне навантаження – це фактично вага, яке може нести дрон. Основні категорії, які тут вивчаються, це моніторинг здоров'я посівів і внесення засобів захисту рослин. У цій роботі, після короткого вступу про використання технології БПЛА в сільському господарстві, буде розглянуто їх різні типи, що використовуються для моніторингу сільського господарства, а також внесення засобів захисту рослин за допомогою БПЛА. Крім того, буде розглянуто способи покращення технології та підвищення її ефективності.

1.2 Використання дронів

Аерофотознімки, які надають дрони, допомагають більшості фермерів у проведенні оцінки, сигналізуванні, попередження, вимірювання, виявлення та навіть реагування на зміни стану культур.

Для фермерів, які мають великі площі земель, що використовуються для сільського господарства, БПЛА можуть забезпечити їх більш точні зображення та відео. Ці зображення мають істотне значення з точки зору моніторингу здоров'я та розвитку посівів, допоможуть їм стежити за ґрунтом, попередити їх

про небезпеку, що насувається, наприклад, шкідників і тварин, досліджувати збитки від стихійних лих.

Фермери можуть використовувати аерофотознімки для оцінки різних етапів розвитку рослин, від посіву до періоду збору врожаю. Виходячи з прогресу посівів, фермери можуть ефективно складати плани щодо потреб поливу та застосування добрив. На додаток до цього, реакція фермера на будь-які проблеми, які впливають на його рослини, буде швидкою, через легкий доступ до цієї інформації.

Тривимірні карти, створені дронами, можуть допомогти фермерам з визначенням стану ґрунту. Дані мають вирішальне значення для максимізації врожайності фермерів, оскільки вони знають, які частини ґрунту є найбільш родючими і тому їх можна засаджувати. За цими даними можна визначити які ділянки потрібно не засаджувати рослинами та удобрювати, щоб покращити рівень поживних речовин у ґрунті для наступного врожаю. Дані, надані безпілотниками також можуть допомогти фермерам у плануванні ефективних методів зрошення.

Польовий аналіз став надзвичайно спрощеним завдяки використанню безпілотних літальних апаратів. Дані, отримані безпілотниками, допомагають їм визначити райони, де не вистачає поживних речовин і води (Herwitz та ін., 2002). Безпілотники також важливі для визначення факторів, що впливають на ріст врожаю, і дають змогу переконатися, що були вжиті адекватні коригувальні заходи.

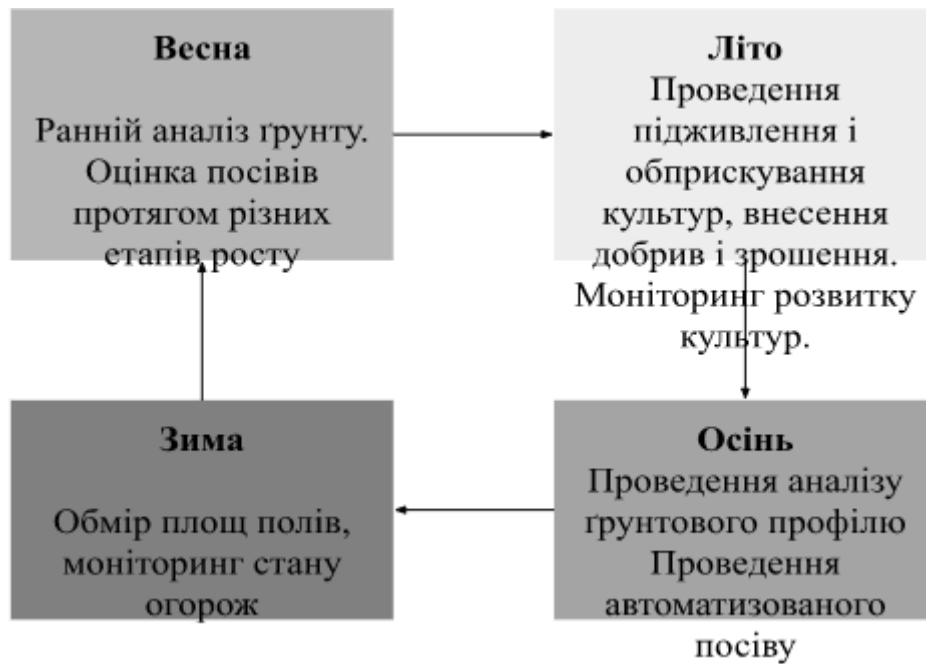


Рис.1.1 Задачі, що вирішують аграрії за допомогою БПЛА у різні пори року.

1.3 Переваги використання дронів в аграрній промисловості

Нижче наведені переваги використання дронів під час сільськогосподарського процесу:

- Покращення моніторингу посівів, розвідки та контролю.
- Гарантія збору точних даних про фермерську діяльність у полях.
- Сприяння точному аналізу необхідної фермерської інформації.
- При належному використанні дана технологія призводить до покращення у поверненні інвестицій.
- Збільшує та покращує кількість і якість врожаю.
- Значне збільшення збраємої культури так як обприскування проводиться дроном, а не самохідним оприскувачем, який витоптує культуру. Тільки за рахунок цього можна збільшити врожай на 4%.

1.4 Проблеми використання дронів у сільськогосподарській промисловості

Існують різні очікувані складнощі з якими зіштовхнуться фермери при використанні БПЛА, а саме:

- Вартість налаштування та обслуговування.
- Бронювання повітряного простору на час використання БПЛА.
- Важливість точного розрахунку пропорцій при внесенні добрив високої концентрації за допомогою БПЛА.
- БПЛА можуть являти собою перешкоди у повітряному просторі, особливо для пілотованих літальних апаратів.
- Чи мають фермери необхідні технологічні навички, щоб у повній мірі використовувати інформацію, яку вони отримують за допомогою своїх дронів?
- Чи здатні вони інтерпретувати дані, які вони зібрали?

1.5 Регулювання використання БПЛА у повітряному просторі України.

Європейська агенція з безпеки польотів (EASA) докладає зусиль аби врегулювати використання дронів у спільному європейському просторі. Більш того, міжнародна група експертів працює над розробкою стандартів для БПЛА, включаючи безпечну інтеграцію малих та великих БПЛА у повітряний простір та аеропорти. Хоча Україна і не є членом цієї організації, вона, як частина міжнародного повітряного простору, зобов'язана забезпечувати безпечні умови для цивільної авіації. Більш того, як майбутній член об'єднаного європейського неба, Україна має запровадити нове законодавство у відповідності з європейськими стандартами.

Варто зазначити, що у сучасному законодавстві існує дефініція БПЛА, 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 БПЛА, сертифікації, атестації операторів, а також інтеграції у сферу управління повітряного руху, відсутні.

На даний момент БПЛА підпадають під регулювання наступних нормативно-правових актів: Повітряного кодексу України, Правил реєстрації цивільних повітряних суден в Україні, Положення про використання повітряного простору України, Правилами польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України. «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 БПЛА мають перебувати у Реєстрі цивільних повітряних суден України. Однак, БПЛА, 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 БПЛА заборонено здійснювати польоти у певних зонах, а саме: захищених (урядові будівлі, промислові об'єкти), з обмеженим доступом (військові, прикордонний контроль, дослідницькі станції й т.п.) чи зарезервованими для інших літальних об'єктів. Користувачі, зацікавлені у специфічних зонах, мають надсилати запит до Державного підприємства обслуговування повітряного руху України.

Підсумовуючи, можна сказати, що є чітке обмеження використання дронів на великих висотах, де вони можуть порушити узгоджені маршрути літаків та інших повітряних суден. На противагу, дрони, що важать менше ніж 20 кілограмів, 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 2016 року In May of 2016, Державна авіаційна служба України оприлюднила проект Концепції положення та процедур по забезпеченню

безпеки польотів повітряних суден авіації загального призначення, спортивних, аматорських та безпілотних літаків. Хоча підготовка проекту Положення мала завершитися до кінця 2016 року, її було відкладено більш ніж на рік. Тим не менш, зміст даного проекту демонструє, що законодавець має за мету помістити всі БПЛА у чітке правове поле.

Документ складається з наступних частин:

- Класифікація та реєстрація БПЛА;
- Навчання та сертифікація персоналу;
- Медичні вимоги до операторів, інтеграція БПЛА до загальної системи повітряного руху;
- Ліцензування та сертифікація операторів БПЛА для комерційного використання, страхові питання;
- Моніторинг та забезпечення безпеки діяльності БПЛА.

Дані 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. З іншої сторони, схоже що Проект відповідає Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, що зобов'язує держави забезпечувати безпечні умови для цивільних повітряних суден у зонах, де використовуються дрони.

Пізніше, у серпні 2016 року, Авіаційна служба підготувала короткі та загальні рекомендації з використання дронів. Якщо говорити коротко, то вони дуже схожі на рекомендації Європейської агенції з безпеки авіації та відповідної служби Сполученого Королівства. Ці положення визначають права та обмеження для операторів дронів.

Однак, як вже зазначалося, це лише рекомендації й, відповідно, не є обов'язковими для виконання. Враховуючи нинішні світові практики, ці положення швидше за все складають базу для нового законодавства, що наразі розробляється.

Тим не менш, лише 3 місяці назад Концепція регулювання напряму безпілотних повітряних суден була презентована як база для публічного обговорення. В залежності від специфікацій дронів, їхнє використання також матиме чотири різні види вимог для пілотів і умов польоту.

Ми не знаємо як саме буде виглядати регулювання дронів в Україні у найближчому майбутньому. Однак, ми точно знаємо, що відсутність належного фінансування може бути суттєвим фактором впливу на усю концепцію регулювання БПЛА в Україні. Більш розвинуті системи, на кшталт створення онлайн-бази для відстеження та управління рухом дронів чи технологія «виявлення та уникнення», потребують більших ресурсів.

Отже, українські служби спробують знайти консенсус з побудови простої, але функціональної системи. З цієї точки зору, логічним для органу регулювання цивільної авіації було б розділити імплементацію регулювання БПЛА на два етапи (реєстрація та інтеграція у спільний повітряний простір).

Давайте спробуємо передбачити, як українська система буде відповідати на нинішні потреби, враховуючи Концепцію та зарубіжний досвід. Нижче я опишу декілька важливих аспектів регулювання дронів.

Говорячи просто, дрони йдуть тим же шляхом, який раніше пройшли автомобілі, у розрізі реєстрації. Як було зазначено вище, вага, швидкість та можлива шкода є ключовими параметрами, що визначають необхідні кроки реєстраційного процесу. Я сподіваюсь, що така реєстрація буде створена у вигляді простої, швидкої та зручної онлайн-платформи.

Станом на сьогодні, прольоти над автомобілями, людьми та під час масових заходів не є прямо забороненими, але, швидше за все, оператори втратять частину таких прав. Більш того, дрони вважаються товаром подвійного призначення. Як результат, кожний імпортований дрон або дрон місцевого виробництва будуть перевірятися на військовий потенціал. І справді, розвиток технологій демонструє, що на сьогодні межа між військовим та цивільним дроном є тонкою. Зокрема, ми можемо пригадати небезпечне використання

дронів у Японії, Іраку та Україні, коли російські дрони зчиняли диверсії на військових базах використовуючи горючі матеріали для знищення техніки.

Широкий перелік заінтересованих сторін, що включає у себе виробників, агрокомпанії, Міністерство оборони та правоохоронні органи, Міністерство економічного розвитку та торгівлі України, Державну авіаційну службу України, дає можливість лобіювання своїх позицій щодо використання дронів. З однієї сторони, враховуючи поточну ситуацію з триваючою війною з Росією та сепаратистами на сході України, Міністерство оборони та Служба безпеки разом з Авіаційною службою будуть лобіювати більш консервативні пропозиції, що можуть перенасичити ринок дронів регулюваннями, включаючи нагляд за БПЛА та їхніми польотами, надто широкі площі та переліки об'єктів, де використання дронів заборонятиметься. На противагу цьому, хоча фізичні особи та бізнес розуміють подібну стурбованість, вони виступатимуть за прості процедури для малих та безпечних дронів і не надто складні регулювання – для більших.

На відміну від російського, білоруського та тайського досвіду обмежувачого регулювання БПЛА, Україні слід прагнути до збалансованої системи, що стимулюватиме використання та виробництво вітчизняних дронів, але гарантуватиме їх безпечне використання усім заінтересованим сторонам.

Проблемна ситуація склалася у США і викликала велику стурбованість у державних чиновників через можливе пошкодження об'єктів власності та здоров'я людей. Наприклад, такі компанії як Unmanned Risk Management, CoverDrone та AIG почали надавати страхові послуги операторам дронів. Отже, необхідність страхувати дронів не буде новинкою для ринку. Схоже, що держава надасть свободу сторонам у формуванні положень таких договорів, зокрема щодо втрати або пошкодження БПЛА та відповідальності за шкоду, спричинену третім особам.

Загалом, умови страхування можуть варіюватися у залежності від рівня потенційного ризику для БПЛА (низький, середній, високий). За умови надання страхового випадку важливими факторами можуть бути: стан здоров'я

операторів, проведення передпольотної перевірки, доступність журналу польотів. Більш того, не менш важливим є розгляд внесення положення про зламування чи крадіжку.

Очевидним є те, що наразі приватне життя має невеликий рівень визначеності та захисту, враховуючи урядові камери, мобільні фото та відео, онлайн-стріми, але дрони мають навіть більше можливостей. Проблема дронів відкрила доволі чутливу тему практичного застосування його захисту. Дрони можуть бути непомітними протягом тривалого часу і збирати багато чутливої інформації, включаючи перелік локацій, звуки та, звісно, обличчя людей. Більш того, особа, чиї права було порушено, не має змоги визначити порушника та його наміри. Цікавий приклад відбувся у США, де чоловік дізнався, що дружина його зраджує.

Такого роду збір та обробка даних приводять до висновку, що межі між стеженням та зоною приватності є на сьогодні невизначеною. Відповідно, хоча б з технічної та юридичної сторони, варто прийняти спеціальні норми регулювання щодо збереження та видалення інформації, обробленої дронами. Державні органи мають надати програми «запитування й видалення», що відповідатимуть на повідомлення громадян та зберігатимуть інформацію не довше звичайно необхідного.

Враховуючи, що завданням Служби є забезпечення безпечних польотів, ця Державна служба є менш зацікавленою у проблемах приватності та захисту даних, а отже їх не уникнути. Однак, доцільно передбачити, що виробники та оператори дронів скоро матимуть рахуватися з вимогами інших державних служб та регулювань, включно з Законом України “Про захист персональних даних”, а також Директивою з захисту інформації та Директивою 95/46/ЄС.

Повертаючись до українських реалій, можливе виникнення наступної ситуації. Журналіст використав свого робочого дрона для запису великої за розміром власності високопосадовця або багатого бізнесмена. Проводячи свій вільний час з сім'єю власник помітив цього дрона і попросив охоронця

підстрелити об'єкт через порушення приватності та меж приватної власності. Хто виграє?!

При адаптації законодавства в Україні слід приділяти увагу прецедентам Європейського суду. Наразі суд визначив, що «діяльність, що провадиться у процесі особистого чи сімейного життя осіб, що з усією ясністю не відносяться до обробки персональних даних, що полягає у публікації в Інтернеті таким чином, щоб ця інформація була доступною для необмеженою кількості осіб» є стеженням та порушенням права на конфіденційність.

З іншої сторони, релевантний для України Європейський суд з прав людини ствердив, що «зона взаємодії особи з іншими, навіть у публічному контексті, що може підпадати під визначення приватного життя» не буде визначатися як стеження. Отже, журналістська діяльність може чітко відповідати вимогам державного регулювання, окрім випадків зловживання.

1.6 Висновок

Концепція з регулювання дронів визначає, що правоохоронні органи будуть залучені до моніторингу діяльності БПЛА. За кордоном, в деяких американських містах, поліція використовує дронів для зниження рівня злочинності за допомогою дронів, що патрулюють міські райони 24 години на день і 7 днів на тиждень. Без сумніву, цілком доцільно використовувати безпілотні судна для природоохоронних агенцій, прикордонних патрулів для фіксування злочинів.

Проте, я не вважаю доцільним швидке впровадження використання дронів для державного нагляду в Україні, в тому числі правоохоронними органами. Використання безпілотників у кримінальних процедурах видається сумнівним через високий ризик неправильного використання та порушення приватності з корумпованих або політичних мотивів.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ РОСЛИН ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА

2.1 Мультиспектральна зйомка та оцінка врожаю

Використання мультиспектральної зйомки — це новий крок в розвитку сільського господарства.

Ця технологія надає фермерам майже миттєву максимально детальну інформацію про те, як себе відчувають посіви.

З її допомогою можна визначити індекс NDVI.

Це один з найбільш поширених індексів для кількісної оцінки рослинного покриву.

$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, де

NIR — відображення в ближній інфрачервоній області спектра,

RED — відображення в червоній області спектра.



Рис 2.1 Приклад оброблених даних, відзнятих мультиспектральною камерою за допомогою БПЛА

В основі формули NDVI лежить той факт, що висока фотосинтетична активність, як правило, пов'язана з наявністю густої рослинності. Завдяки цьому з'являється можливість проводити картографування рослинного покриву на основі повітряних зйомок і виявляти площі, які покриті й не покриті рослинністю.

Знаючи спектральні характеристики природних (сніг, лід, вода та ін.) і штучних матеріалів, а також характерні для них значення NDVI, можна розпізнати й класифікувати їх на спектрональних знімках.

Таким чином мапи с даними індексу NDVI дозволяють кількісно оцінити стан рослинності, розрахувати врожайність, ідентифікувати культури, оцінити схожість і зріст рослин, проаналізувати продуктивність угідь, а також виявити проблемні ділянки.

Дистанційна оцінка індексу NDVI на основі аерофотозйомки з БПЛА — один з найбільш точних і швидких методів моніторингу сільськогосподарських угідь.

Застосування БПЛА дозволяє знизити собівартість даних, підвищити оперативність їх отримання та роздільну здатність. Використання наземної техніки має меншу продуктивність і обходиться дорожче в обслуговуванні. А знімки, зроблені з супутника, відрізняються меншою роздільною здатністю, що не задовольняє сучасним запитам в галузі точного землеробства, особливо у випадку полів невеликої площі. Крім того, хмарність в день зйомки робить результати, отримані з супутників, непридатними до використання.

Використання традиційних методів моніторингу сільськогосподарських полів вимагає великої кількості робочої сили і час для успішного завершення. Однак використання дронів для цієї мети означає, що фермер може літати на пристрої над фермою, проводити інвентаризацію, оглядати, чи немає повільно зростаючих рослини, яким може знадобитися додатковий азот, або вода для покращення росту. Ці дрони оснащені датчиками, здатними вимірювати конкретну довжину хвилі поглинутого світла відбивається рослинами, що призводить до створення кольорових контрастних зображень, які підкреслюють

проблемні зони на полі (Van Loon, Speratti, & Govaerts, 2018). Зображення, які є отримані з даних, які збирають дрони, включають нормалізований індекс різниці рослинності (NDVI), які раніше створювалися за допомогою супутників і літаків обчислення співвідношення різниці ближнього інфрачервоного та видимого світлового випромінювання.

Комбінація сенсорного інструменту та GPS дозволяє знімати зображення та відео у полі, щоб бути в одному шарі, який потім можна проаналізувати та геоприв'язати. Важливо щоб зазначити, що тільки якщо зображення в цьому форматі, фермер може використовувати GPS-підтримку смартфоном або будь-яким іншим пристроєм, щоб дійти до визначеного місця, оглянути проблемну ділянку та знайти відповідне рішення (Van Loon, Speratti, & Govaerts, 2018). Як було зазначалося раніше, датчики здатні фіксувати зображення, які надають важливу інформацію фермери. Наприклад, вони можуть інформувати фермера про здоров'я рослини, оскільки вони поглинають світло для цілей фотосинтезу. Однак існують довжини хвиль світла, які відбиваються, наприклад фотони ближнього інфрачервоного (NIR) діапазону, оскільки вони не мають достатньо енергії, щоб полегшити процес фотосинтезу, але мають багато тепла. Рослини зазвичай відбивають NIR світло, однак здатність або механізм відбиття світла листям рослини зазвичай руйнується разом із листям померти. Тому датчики ближнього інфрачервоного діапазону сконструйовані таким чином, щоб вони могли контролювати різниця в коефіцієнтах відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні та у видимому діапазоні за допомогою розрахунку, відомого як нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI). Сильний NDVI вказує на високу щільність рослин у зоні, тоді як слабкий NDVI можна інтерпретувати як виявлення проблемних зон на а посівне поле. На малюнку 1 показано різницю між здоровим і мертвим листом за допомогою відбитого світла.



Рис 2.2 Приклад дрону [Dji phantom 4 multispectral] з мультиспектральною камерою та отриманої мапи.

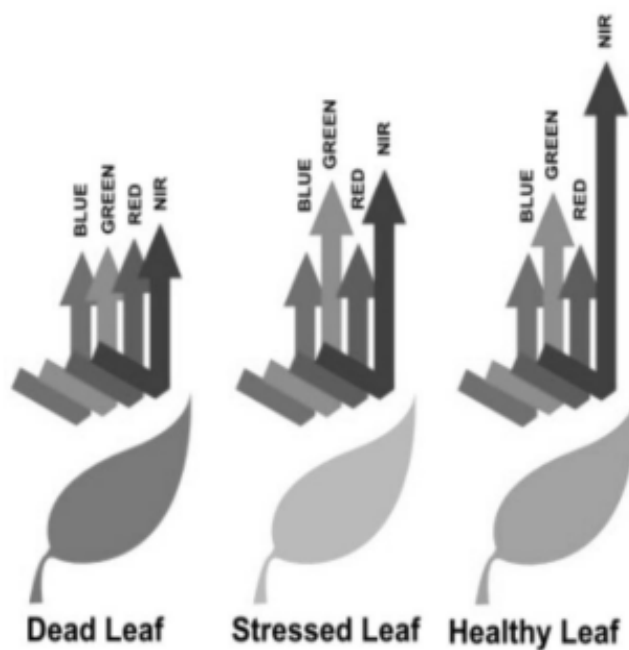


Рис 2.3 NDVI та стан рослин. Передруковано з (Електронне сільське господарство в дії: дрони для Сільське господарство(стор.3), Джерард Сильвестр, 2018, Бангкок.)

Як було зазначено, звіт NDVI може допомогти фермерам розрізнити область поля, де культури добре ростуть, а де ні. Тоді фермер може створити

зони в фермі, де буде внесено різну кількість добрив залежно від потреб або вимоги галузі. Крім того, як рослини реагують на стрес, зображення NDVI може виявити фермеру, якщо є шкідники, бур'яни та/або пошкодження водою, що призводить до врожаю не в змозі рости, як вони повинні. Фермеру надається необхідна інформація, яка допоможе йому виявити проблеми на фермі та запропонує економічно ефективні рішення.

Існує два підходи, якими фермери можуть скористатися при виборі камери NDVI знімайте зображення ферми. Перший підхід передбачає використання дорогої, спеціально виготовленої камери з можливістю захоплення точних довжин хвиль (Xiang & Tian, 2011). Його додаткова вартість що він здатний вловлювати вузькі частоти, які можуть забезпечити фермера кращим інформацію про здоров'я його ферми. Однак цей тип камери вважається єдиним корисний в окремих випадках, і його ефективність не відповідає його високій ціні. З іншого боку, а фермер може перетворити високоякісну споживчу камеру, яку потім можна буде встановити на дрон сільськогосподарські цілі зображення. Використання цих двох підходів сприятиме доставці високоякісні дані NDVI для фермерів, які вони можуть використовувати для оцінки загального стану свого здоров'я ферма.

Ще один підхід, який фермери можуть використати для оцінки своїх врожаїв, – дистанційний зондування, яке може виявити відмінності у зростанні культур і стані ґрунту варіації спектральних відгуків. Інформація, яку фермер отримує від дистанційного зондування, може допомогти у виявленні дефіциту поживних речовин, хвороб, стану води, бур'янів, пошкоджень і популяції рослин (Xiang & Tian, 2011). Дистанційне зондування (ДЗ) також можна використовувати для виявлення змін під час нападу шкідників або уражених хворобами рослин, перш ніж вони стануть видимими для людського ока. The Нижче наведено атрибути або переваги використання RS для збору даних у сільському господарстві інформація: безперервний метод, систематичний спосіб збору даних, точність, ефективність. Ці переваги використання RS призведуть

до збільшення врожайності, а також допоможуть фермерів, щоб вони могли задовольнити зростаючі потреби в продовольстві в усьому світі.

БАС мають низку переваг перед іншими існуючими технологіями надання фермерам інформації щодо їхніх посівів або здоров'я худоби. Наприклад, на відміну від випадку з супутниками, вони дозволяють незалежно відраховувати час повітряних проходів, і отже, фермер намагається уникати недостатньої частоти супутникових досліджень, або збурення, спричинені умовами хмарного покриву. Вони також здатні забезпечити ультрависока роздільна здатність до градуса сантиметрів. Вони також безпечніші для роботи на низьких висотах, особливо за екстремальних погодних умов. Вони мають нижчу експлуатаційну вартість у порівнянні з пілотованими літаками та мають вищу гнучкість у часі. Це помітно у віддалених районах, де їх мало пілотованих літальних апаратів, і вони також доступні за ціною порівняно з купівлею або орендою пілотованого літака літаки для різних застосувань у сільському господарстві.

Одним із основних видів економічної діяльності у сільському господарстві є внесення добрив азот, калій і фосфат, а також мікроелементи, такі як сірка і магній. В У більшості господарств внесення добрив здійснюється наземною технікою, напр тракторні обприскувачі та системи зрошення під тиском, тоді як у великих господарствах з вищими вони використовують пілотовані літальні апарати для сприяння цій діяльності (Zarcotejada та ін., 2005). При використанні пілотованих літаків, фермери переважно використовують єдину норму внесення для всіх площ полів, які є розпилюються, що впливає на точність добрив, які вносяться на ферму. На додачу до цього зміна швидкості та напрямку вітру, а також зміна висоти літак під час процесу внесення добрив робить точне внесення майже неможлива діяльність. Наземне обладнання в основному використовується для стабілізації врожаю стан поживних речовин протягом сезону поливу.

У дослідженні Mone, Shivaji, Tanaji і Satish (2017) дослідники надають аргумент на підтримку використання дронів для розпилення добрив і пестицидів. The Дослідники надають докази Всесвітньої організації охорони

здоров'я, відповідно до яких, за оцінками, що Є 3 мільйони випадків отруєння пестицидами, які відбуваються щороку, і є 220 000 смертей які щорічно повідомляються переважно в країнах, що розвиваються, через неправильне застосування добрив фермерами на своїх полях. Дослідники зазначають, що дрони можуть бути оснащені з автоматичним механізмом розпилення, який гарантує, що фермери уникнуть шкідливого впливу добрив, забезпечивши внесення правильної кількості добрив у різні частини ферми.

В іншому дослідженні Meivel, Dinakaran, Gandhiraj and Srinivasan (2016), дослідники досліджував, як квадрокоптер БПЛА, оснащений системою розпилення добрив і пестицидів, може бути застосовується в точному землеробстві. Вони зазначили, що встановлений БПЛА квадрокоптера з модулем обприскування не тільки веде до точного землеробства, але дозволяє фермерам досягти, або отримати доступ і застосувати вміст пестицидів і добрив у важкодоступних місцях фермери. На додаток до цього, ці дослідники відзначили, що мультиспектральні камери, які мають які були встановлені на дронах, можуть допомогти фермерам знімати зображення дистанційного зондування та визначати території, які добрива та пестициди не були застосовані належним чином.

2.2 Біологічний метод

2.2.1 Кукурудзяний метелик: шкідник кукурудзи

Випадково завезений з Азії на початку 2000-х років із міжнародною торгівлею рослинами моль — вид метеликів (лускокрилих), чії личинки у формі гусениць особливо люблять кукурудзу, а також самшит, соняшник, хміль, коноплі. ...

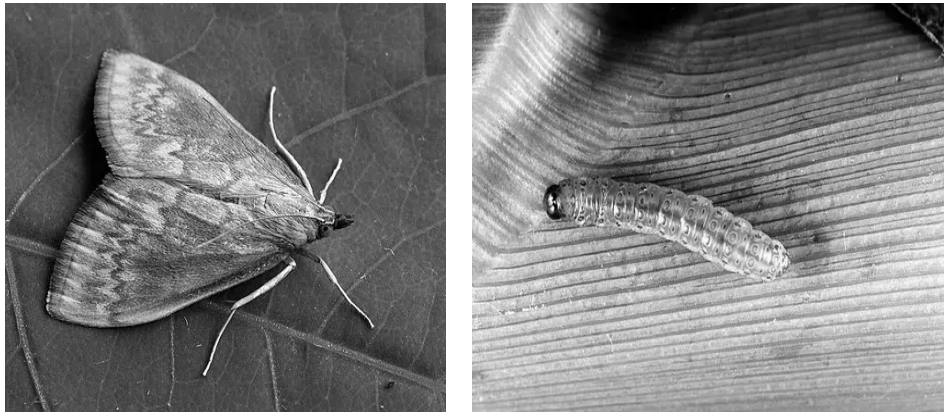


Рис 2.4 Кукурудзяний метелик та його гусінь.

Дуже ненажерливі, гусениці дуже швидко об'їдають листя, чим завдають значної шкоди посівам. Також кукурудзяний метелик риє ходи в стеблах кукурудзи, послаблюючи ноги, а також сприяючи появі інших захворювань, грибків...

Нещодавно виявлений приблизно в 2010 році, самшитова моль також завдає значної шкоди паркам і садам, за відсутності природних хижаків, через свою недавню появу. Розпізнати заражений самшит легко: листя порізані і залишаються сліди шовку (як павутина). Підійшовши до листя, ви швидко побачите багато маленьких, дуже впізнаваних чорноголових гусениць.



Рис 2.5 Гусінь самшитової молі, та наслідки діяльності цього шкідника.

2.2.2 Засоби боротьби з кукурудзяним метеликом європейським

Моль – це комаха сімейства метеликових, яка проходить кілька личинкових станів (яйце, личинка, гусениця, метелик...). Засоби контролю будуть

адаптовані відповідно до личинкової стадії та, звичайно, до ступеня посівів, які будуть оброблені. Для самшиту, в приватному будинку або в парку краще використовувати прицільне обприскування тюрінгської паличкою, дуже ефективний природний метод.

Тут зупинимося на засобах боротьби з кукурудзяним метеликом у сільському господарстві. Можна виділити 3 основні способи боротьби з кукурудзяним метеликом:

- Генетично модифікована кукурудза (ГМО)
 - Хімічна обробка (фітосанітарна)
 - Біологічне очищення
- ГМО - це створення генетично модифікованих сортів кукурудзи, щоб зробити їх більш стійкими до хижаків або грибків. Це рішення має перевагу в тому, що обмежує або навіть забороняє використання хімічних продуктів на культурах і таким чином обмежує вплив на навколишнє середовище та витрати на обробку, незважаючи на те, що насіння коштує приблизно на 15% дорожче. Це відомий як Vt сорт кукурудзи, який був дозволений у Франції з 2000 року. Однак існує ризик того, що комахи вироблять стійкість до ГМО, і є сумніви щодо їх довгострокової ефективності.
 - Хімічна обробка кукурудзяних ділянок полягає у використанні інсектицидів (піретроїдів), вплив яких на здоров'я дикої природи та людей все частіше критикується.
 - Нарешті існує екологічне рішення, яке є таким же ефективним, як і хімічна обробка. Це рішення полягає у використанні добре ідентифікованого природного хижака молі: трихограми, на якій ми зосередимося.

2.2.3 Трихограма - природний хижак кукурудзяного метелика

Якщо ви не на вершині харчового ланцюга, у кожної живої істоти є хижак. На щастя, це також стосується європейського кукурудзяного метелика. Деякі

птахи або кажани харчуються цією комахою, але здається складним використовувати цих хижаків у сільському господарстві. Однак існує мікроскопічна оса, чия самка має гарну ідею відкласти яйця в яйця молі, які, розвиваючись, убивають свого господаря, щоб харчуватися ним. Нещастя одних робить щастя інших, особливо фермерів, які займаються кукурудзою.

Цю крихітну комаху розміром менше 1 міліметра називають трихограмою.



Рис 2.6 Трихограма.

Трихограма є оофагним паразитоїдом. Саме ця характеристика буде використана в боротьбі з кукурудзяним метеликом, метод, розроблений у 1970-х роках. Дійсно, ця техніка полягає у знищенні молі в її яйцях завдяки масовому використанню личинок трихограми, самки яких відкладаються безпосередньо в яйця молі. Ці личинки вбивають свого хазяїна, щоб харчуватися і розвиватися. Також слід зазначити, що трихограма безпечна для людини та інших тварин.

2.2.4 Використання трихограми в сучасному сільському господарстві

Використання трихограми проти кукурудзяного метелика є найпоширенішим біологічним методом у сільському господарстві Франції,

щороку обробляється понад 125 000 гектарів, або більше $\frac{1}{4}$ загальної площі. Ця техніка дуже ефективна, але вимагає досконалого володіння, яке вдосконалили дослідження, проведені INRA у 1970-х роках, а потім різними організаціями, такими як INVIVO, ARVALIS, сільськогосподарськими палатами...

Дійсно, «вигодовити» трихограму, тобто живу істоту, не так просто, як зробити хімічні речовини. Використовували різні методики для зберігання трихограми в сурогатному хазяїні (яйця борошняної молі) з подальшим блокуванням процесу розвитку паразита на певній стадії, щоб підтримувати його протягом 9 місяців, для використання навесні на полях кукурудзи.

Щоб оптимізувати ефективність лікування, трихограми змішують на різних стадіях розвитку для боротьби з кукурудзяним метеликом на всіх цих етапах еволюції. Мета полягає в тому, щоб знищити яйця, коли вони відкладаються, перш ніж вилупляться.

Нарешті, необхідно вчасно поширювати личинки трихограми, тобто коли перші молі відкладають яйця. Це передбачає посилений моніторинг посівів за регіонами для визначення ідеального часу. Тоді фермеру доведеться швидко та масово втрутитися, щоб ефективно обробити свої ділянки. Тоді доступні кілька методів розповсюдження трихограми в полі. Це може бути ручний метод, коли необхідно буде пройти по полях, а потім розмістити трихограмні пластини на фіксованій відстані. З ділянками, які можуть досягати кількох десятків гектарів, здається, важко ефективно обробляти вручну. Існують також механічні методи, які складаються з автоматичного розміщення капсул, що містять личинки *Trichogramma*, на фіксованій відстані. Для пересування по полях використовується декілька видів моторизованої техніки.

Поява дрона дозволить ефективно реагувати на ці виклики: швидко долати великі відстані, не пошкоджуючи посіви, розсіюючи капсули з високою точністю.

2.2.5 Внесення трихограми дроном

Застосування трихограми з повітря потребує виготовлення перфорованих біологічних капсул (целюлоза, крохмаль...), що містять кілька сотень самок личинок трихограми, які відкладатимуть свої яйця в яйця кукурудзяного метелика. Ці капсули будуть скидатися на фіксованій відстані з повітря за допомогою спеціально обладнаного для цього дрона. Тривалість життя личинок близько 7-8 днів, діяти потрібно швидко. Дрон виявився надзвичайно ефективним інструментом для досягнення цієї мети.

Дрон може охопити 1 га всього за 2 хвилини, скинувши капсулу (кожні 10 метрів). Крім того, польоти на безпілотноках набагато менш обмежувальні та дорогі, ніж на інших моторизованих пристроях, таких як вертольоти чи літаки. Дрон летить на кілька метрів над ділянками і, таким чином, може скидати капсули з високою точністю.

2.3 Хімічний метод.

2.3.1 Внесення добрив за допомогою БПЛА

Переваги використання дронів для агровиробників

Дрони дозволяють знизити вплив людського фактора на роботу господарства. Рішення, ухвалені на підставі даних дронів або дистанційного зондування землі об'єктивно, і не залежить від настрою регіонального чи головного агронома.

Для фермерів, як і раніше, основна функція, що використовується, — дистанційний моніторинг і контроль. Дрон дозволяє суттєво збільшити продуктивність співробітника в полях, заощаджуючи його час та підвищуючи результативність обходів. Жодна проблема на ранніх етапах не залишається поза увагою, якщо на підприємстві використовуються дрони.

Інший функціонал дронів, який вкрай активно використовується фермерами, — обмірні роботи. За допомогою БПЛА можливо отримувати точні дані про контури і рельєф полів з усією інформацією про площу, що не використовується в рамках поля. Це стосується правильного планування робіт і

бюджетів. При пайовому обліку та всіх операцій, де використовується база даних координат будь-якого підприємства.

Третій напрямок роботи дронів у полях — точне землеробство. Використання дронів із комбінації з мультиспектральними сенсорами, програмними продуктами дозволяє визначати потребу рослин у азотних добривах та інших мікро- та макроелементах, аналізувати якість виконаних посівних робіт і навіть планувати врожай. Проривом року у 2017 році стали послуги з визначення потреби в азотних добривах та застосування дронів із системою штучного інтелекту від компанії Taranis.

Але одним із найперспективніших напрямків використання дронів в агро — це внесення засобів захисту рослин.

2.3.2 Обприскування дронами

Якщо раніше ми могли говорити тільки про трихограму, як про використання дронів для внесення засобів захисту, то зараз багато хто задається питанням використання дронів як обприскувачів.



Рис 2.7 DJI Agras MG1P (зліва) та DJI Agras T20 (справа)

Технології Agras від підрозділу DJI Agriculture, які є стандартом галузі, дуже популярні в країнах Азії. На ринках Індії та Китаю, де середній розмір поля не перевищує 3-4 га, дрони працюють, замінюючи ручне обприскування з основною метою — знизити ризики для персоналу. Більше того, технології дронів-обприскувачів субсидуються в Китаї і лише за 2018 рік на території

Китаю було реалізовано понад 8 тис. дронів моделі Agras MG-1P, найсучаснішої модифікації.

В Україні, враховуючи розміри полів, ця технологія приживається повільніше, один дрон не в змозі замінити самохідний або причіпний обприскувач, необхідно щонайменше 5 дронів, що працюють разом, щоб замінити 1 класичний апарат.

У нашій країні дрони обприскувачі знайшли себе у внесенні гербіцидів на посіви на полях, де навесні не сходила вода. Дрони показали себе успішними борцями з осередками поразки бур'янами, наприклад, ваточником сирійським. Восени дрони застосовувалися для виконання крайової обробки полів десикантами та поблизу населених пунктів.

В Україні активовано до 10 одиниць обладнання Agras, але не всі вони працюють у сфері сільського господарства. За нашими даними кілька старих версій, що були у використанні дронів-обприскувачів, були завезені з території США і переобладнані для інших завдань. 2 дрони були куплені українськими агропідприємствами, 2 дрони знаходяться в сервісному підрозділі DroneUA Agroservice з метою надання послуг і ще 2 апарати знаходяться на вітринах магазинів як демонстраційні зразки.

Дрони серії Agras Mg-1S пройшли сертифікацію в Україні, про це заявила компанія Smart Trading на початку 2018 року. Це єдиний імпортер, який може здійснювати легальний імпорт цього обладнання.

Також на ринку існує така ж кількість дронів обприскувачів власного або дрібносерійного виробництва, і це той випадок, коли обладнання DJI у даному сегменті не є основним. Але, незважаючи на досить скромні показники, очікується багаторазовий приріст технології дронів-обприскувачів в Україні.

2.3.3 Застосування БПЛА для внесення добрив та ЗЗР дозволить відмовитися від технологічних колій

Дослідники прогнозують, що зі збільшенням населення Землі до 9,8 млрд. до 2050 року попит на зернові культури збільшиться більш ніж на 40%. У той

же час особливості експлуатації наземної сільськогосподарської техніки призводять до ущільнення ґрунтів та падіння врожайності. Особливо критичним ущільнення ґрунтів може бути при вирощуванні зернових культур.

Складність підготовки посівного ложа призводить до появи нерівномірних сходів, а також щільний ґрунт пригнічує розвиток кореневої системи, що загрожує проблемами з харчуванням рослин та виляганням культур.

Застосування дронів-обприскувачів для живлення та захисту рослин може допомогти зменшити навантаження на ґрунт завдяки зменшенню інтенсивності використання наземної техніки та збільшити відсоток використання полів завдяки відсутності технологічних колій.

Деякі факти про ущільнення ґрунтів у Європі:

- Середня маса тракторів у Данії збільшилася з 2,6 т 1970 р. до 6,6 т 2000 р.
- За оцінками експертів, у 1991 р. площа ущільнених ґрунтів зайнятих у рослинництві становила 68 млн га, з яких близько 33 млн га припадало на Європу.
- Дослідження 2019 року показали, що 51% орних земель у Німеччині страждають від ущільнення.

2.3.4 Боротьба з ущільненням ґрунту

Сьогодні для боротьби з ущільненням ґрунту та створенням плужної підшви застосовується глибоке розпушування ґрунту (35-50 см і більше). Таке рішення потребує наявності потужної техніки, додаткових витрат палива, періодичного повторення розпушування та глобально збільшує вуглецевий слід аграрного виробництва.

Для зменшення навантаження на ґрунт в Австралії, США, країнах ЄС для руху польової техніки використовуються технологічні колії. Технологічні колії - це вузькі ділянки ґрунту без рослинності, які використовуються для пересування техніки при сівбі, внесенні добрив та ЗЗР протягом усього вегетаційного періоду. Впровадження РТК-технологій з точністю позиціонування до 2 см дозволило максимально зменшити ширину

технологічних колій, але вони як і раніше становлять близько 3,5% площі поля, де нічого не росте.



Рис 2.8 Потенціал зарощування технологічних колій

Дослідження Університетського коледжу Дубліна показало, що у країнах ЄС у середньому 3,42% полів займають технологічні колії. Розмір і форма поля не мали суттєвого впливу на показник, зате наявність дерев та інших об'єктів, що перешкоджають роботі техніки, сприяло збільшенню площі колій.

Було підраховано, що потенційне використання цієї площі для вирощування основних сільськогосподарських культур (ячменю, вівса, ріпаку, пшениці), пропорційно до їх сумарної площі на полях країн ЄС, дозволило б виробити додатково 8,14 млн тонн продукції (еквівалентно виробництву цих культур у Чеській Республіці).

У разі потреби використання технологічних колій дозволить зменшити площу оброблюваних земель, зберігши поточні обсяги виробництва. Вивільнені землі можна використовувати для розміщення сонячних панелей та інших об'єктів.



Рис 2.9 Дрон-обприскувач XAG XP2020

Деякі фахівці пропонують використовувати технологічні колії для вирощування польових відтінків. Вплив таких смуг на врожайність культур сьогодні лише вивчається, але передбачається, що стимулювання розселення природних запилювачів та знищувачів комах-шкідників позитивно впливає на врожайність культур.

2.4 Висновок

Внесення ЗЗР та добрив за допомогою дронів-обприскувачів може зменшити необхідність використання наземної техніки, особливо на пізніх стадіях зростання. Таким чином, може зникнути необхідність у технологічних коліях, що сприяють збільшенню поверхневого стоку. Наявність колій основна причина ерозії ґрунтів на 34% полів із подібною проблемою. Крім змиву наносів зі стоком із ґрунтів вимивається фосфор, що позначається на підсумковій урожайності культур.

Є й інші переваги повітряного внесення ЗЗР за допомогою технологій БПЛА перед класичним внесенням наземною технікою. Дослідження показують, що діаметр вогнищ ураження посівів популяціями бур'янів (на ранніх стадіях виявлення) вбирається у 30-50 метрів. Отже, для захисту посівів не потрібне суцільне покриття. Ефективніше та економніше точкове внесення рецептурних гербіцидів за допомогою БПЛА.

РОЗДІЛ 3 ПАРАМЕТРИ РОБОТИ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТ ОСАДЖЕННЯ КРАПЕЛЬ ЗЗР, ТА ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ

Фактори, які впливають на ефект осадження крапель, включають швидкість польоту, висоту польоту, розмір крапель, температуру навколишнього середовища, вологість і швидкість зовнішнього вітру. У захисті рослин БПЛА швидкість польоту та швидкість навколишнього вітру безпосередньо пов'язані з дрейфом крапель. Змішане поле вітру, створене ними, змінить початкову траєкторію краплі. Вологість і температура безпосередньо пов'язані з випаровуванням крапель, а висота польоту пов'язана з випаровуванням і дрейфом крапель. Через різну висоту польоту час падіння крапель буде різним, і ймовірність випаровування в повітрі також різна. Різні висоти польоту під час падіння на краплі впливають на навколишнє поле вітру, що також буде впливають на відстань дрейфу. Деякі з цих факторів можна регулювати під час польоту БПЛА для отримання оптимального ефекту осадження крапель. Наступні дослідження показують, як дослідники підійшли до оптимальних параметрів роботи БПЛА для роботи з розпиленням.

3.1 Швидкість польоту

Швидкість польоту впливає на час перебування БПЛА на вершині рослинного покриву, що визначило ефект осадження пестицидів. Таким чином, відповідна швидкість польоту може підвищити ефективність роботи БПЛА, одночасно забезпечуючи кількість осадження крапель. Тут ми підраховали ефекти осадження крапель різними вченими на різних швидкостях, як показано в таблиці. Дослідження впливу швидкості польоту на ефект осадження в основному включало симуляційний аналіз та експерименти на відкритому повітрі. Досліджували симуляційні експерименти в приміщенні щодо впливу швидкості польоту на осадження крапель і дійшли висновку, що вища

швидкість польоту призводить до нижчої ефективності осадження крапель. Вони спостерігали, що коли швидкість польоту досягла 1 м/с, щільність осадження зменшилася до 41,4%, а покриття зменшилося до 3,9%. Створили умови CFD моделювання в програмному забезпеченні Ansys Fluent для дослідження оптимального результату осадження крапель БПЛА. Були змодельовані конкретна швидкість вітру, швидкість польоту та інші умови, а також отримана траєкторія руху крапель, щоб визначити результат осадження крапель. За умов швидкості польоту 3 м/с і висоти 1,5 м концентрація осадів становила 50–200 мкг/см². За допомогою інструментального методу термоінфрачервоного зображення для порівняння різниці в результатах осадження на різних висотах і швидкостях польоту виявлено, що найкраща швидкість польоту БПЛА становить 1,5 м/с. Перевірили вплив БПЛА з дизельним двигуном на ефект осадження дерев лічі на різних швидкостях на однаковій висоті польоту. Результати показали, що ефект осадження найкращий при швидкості польоту до 2,8 м/с. Експеримент на рисовому полі показав, що коли швидкість польоту БПЛА зберігалася на низькій швидкості (2 м/с), характеристики краплі показали кращу рівномірність і вищу щільність осадження крапель, ніж коли швидкість польоту була вищою (4 і 6 м/с). s). Експериментальні результати показують, що явище дрейфу розпилення є найменшим, коли застосовується плоска розпилювальна форсунка з датчиком повітря або турбінна плоска насадка з датчиком повітря та швидкість нанесення 3 м/с.

Загалом, на тій самій висоті більша швидкість польоту спричинить гірший ефект осадження крапель. Зі збільшенням швидкості польоту покращується рівномірність розподілу крапель, а щільність крапель і відсоток покриття розпиленням зменшуються. Однак для забезпечення ефективності операції часто необхідний баланс між швидкістю польоту та ефектом осадження; зазвичай експлуатаційна швидкість польоту коливається від 1,5 до 3 м/с.

3.2 Висота польоту

Як показано в таблиці 2, висота польоту БПЛА впливає на осадження на різних рослинах, тому відповідна висота польоту для БПЛА сильно відрізняється для різних рослин. На бавовняному полі, коли висота польоту БПЛА становить 2 м, осадження крапель на різних куполах більш рівномірне. Коли висота менше 2 м, сильний потік повітря, що йде вниз, значно зменшує осадження крапель на різних бавовняних покривах. Висота польоту БПЛА повинна бути менше 2,5 м, коли він розпилює ананаси. Коли висота польоту перевищувала 2,5 м, осадження крапель раптово зменшувалося. Шенде та ін. провели експерименти щодо впливу параметрів БПЛА на осадження крапель на кроні апельсинового дерева та знайшли оптимальну щільність осадження крапель на висоті польоту 2,5 м і швидкості розпилення 1 л/хв, а середня щільність осадження склала 128,16 крапель/см². Хоу та ін., завершив експеримент щодо оптимального осадження на деревах. Осадження крапель досягало свого апогею на висоті польоту 1,2 м, а продуктивність осадження була значно нижчою на висоті польоту 0,6 і 1,8 м. Занадто великі або занадто низькі висоти польоту не сприяли осадженню крапель на поверхні врожаю. Діапазон висоти польоту для осадження становить 1,0–2,5 м, і різні БПЛА або системи розпилення матимуть різні оптимальні висоти польоту. Ху та ін. запропонував, що висота польоту 1,5 м і об'єм розпилення 22,5 л/га були найкращими параметрами для використання для обприскування БПЛА для боротьби з попелицею на сходах бавовнику. Інша група використовувала методи БПЛА та Тагучі для вивчення оптимальних параметрів контролю розподілу крапель для цитрусових дерев. Найкращі результати спостерігалися при формі куполи цитрусових у вигляді перевернутого трикутника, висоті розпилення 1,40 м і швидкості польоту 1,0 м/с. Висота обприскування має значний вплив на розподіл крапель на верхньому шарі пшениці. Висота розпилення становила 5,0 м, а швидкість розпилення 4 м/с. Рівень покриття крапель на нижньому шарі пшениці був найбільшим.

Крім того, у зовнішніх умовах швидкість вітру та висота польоту зазвичай разом впливають на осадження. Тому деякі дослідники враховували одночасно і швидкість вітру, і висоту. За умов висоти 2,0–3,5 м, швидкості $5,0 \pm 0,3$ м/с і швидкості бокового вітру 0,8 м/с чим більша висота, тим кращий рівномірний розподіл крапель. Провели експеримент із седиментації крапель з 50, 75 та 100% отворами сопел за умов 1,5–3,0 м та швидкості вітру 1,0–5,8 м/с. Результати експерименту показали, що менша швидкість і висота вітру сприятимуть ефекту осідання крапель. На висоті 2 м хороша рівномірність досягається при 50, 75 і 100% відкритті сопла в діапазоні швидкості вітру 1,0–3,8 м/с. За допомогою симуляційних експериментів встановили, що швидкість польоту 3 м/с, швидкість бокового вітру 1, 2 і 3 м/с, висоти польоту 5, 6 і 7 м. Створено модель турбулентності з наближеним розв'язком рівняння НС з відповідними граничними умовами. Завдяки моделюванню та експериментальним результатам можна зробити наступні висновки: швидкість бокового вітру є більшим впливовим фактором, ніж висота бризок у повітрі, що впливає на дрейф крапель; і дрейф крапель відбувається лише в полі розпилення за вітром.

Таким чином, необхідно встановити модель осадження БПЛА відповідно до різних насаджень культур і враховувати вплив швидкості вітру та висоти на осадження під час роботи.

3.3 Тиск насоса

Найважливішим фактором, який визначає розмір крапель, був тиск водяного насоса. Тут ми в основному обговорювали зв'язок між розміром частинок і осадженням крапель. Згідно з результатами експериментів у аеродинамічній трубі для перевірки осадження крапель із різними типами параметрів сопла, краплі більшого розміру мали кращі показники щодо запобігання дрейфу та осадження крапель. Створили модель CFD для вивчення зв'язку між розміром краплі та дрейфом краплі в умовах бокового вітру. Коли розмір краплі менше 150 мкм, явище дрейфу краплі є очевидним, і коли розмір

частинок стає більшим, явище дрейфу краплі зникає. однак, виявили, що коли БПЛА використовуються для виявлення ефектів боротьби зі шкідниками поля пшениці, розмір крапель негативно корелює з щільністю опадів. Частково це пояснюється тим, що коли покриття однакове, але розмір частинок більший, крапель на одиницю площі менше. Завершив експеримент із рисовим полем, щоб знайти найбільш відповідний діапазон розміру частинок для осадження крапель, було виявлено, що розмір крапель дуже схильний до дрейфу, коли розмір крапель менший за 100 мкм, тоді як важко проникнути через пологовий шар культур коли розмір краплі перевищує 400 мкм, у цьому випадку ефект осадження крапель є поганим. Краплі, які занадто великі або занадто малі, не сприяють осадженню крапель. Приблизний відповідний діапазон для осадження крапель становить 100–300 мкм. Відповідно до різних культур і зовнішнього середовища, найбільш підходящий діапазон буде відповідним чином скоригований. БПЛА має кращий контроль осадження та ефективності з грубими соплами при більших об'ємах розпилення ($> 16,8 \text{ л га}^{-1}$), але він має кращі характеристики при менших об'ємах розпилення ($< 9,0 \text{ л га}^{-1}$) і тонкі сопла. Поганий контроль осадження та ефективності. Використовували БПЛА для проведення експерименту з повітряним обприскуванням з однаковою швидкістю розпилення та різним розміром крапель на рисовому полотні. Було використано чотири сопла TEEJET з різними розмірами отворів (середній об'ємний діаметр (VMD) цих крапель становив 95,21, 121,43, 147,28 і 185,09 мкм відповідно), а дрейф крапель у цільовій зоні та крапель у не- визначено цільову область. Розподіли порівнювали та аналізували. Результати показали, що зі збільшенням розміру крапель збільшується швидкість осадження крапель на верхньому та нижньому шарах рису цільової області. Це вказує на те, що збільшення розміру краплі може ефективно зменшити дрейф краплі, що вказує на те, що розмір краплі є одним із найважливіших факторів, що впливають на краплі. Застосували три різні тиски 207, 310 і 414 кПа до п'яти типів сопел і виявили, що на щільність кількості крапель впливає тиск, причому вищий тиск призводить до найбільшої щільності. Лю та ін. (2021) провели експерименти

щодо ефективності розподілу рідини соплом за чотирьох тисків. Експериментальні результати показали, що при регулюванні тиску від 200 до 500 кПа значення $Dv_{0,5}$ коливалося від 124,46 до 85,95 мкм, а при використанні рідини 400 або 500 кПа розподіл крапель за розміром був більш рівномірним. Це можна пояснити тим, що підвищення тиску може утворювати більше дрібних крапель і менше грубих крапель.

У певному діапазоні (200–500 кПа) на розмір крапель впливає тиск. Чим вищий тиск, тим дрібніший і однорідніший розмір краплі. Подібним чином, менший розмір краплі призведе до серйознішого явища дрейфу, і чим більша крапля, тим гірше проникнення. Таким чином, необхідно вибрати відповідний рівень тиску відповідно до різних культур, щоб досягти меншого знесення крапель і кращого проникнення крапель.

3.4 Температура і вологість

Хоча метеорологічні фактори неможливо змінити штучно, слід враховувати вплив температури та вологості на осадження рідких пестицидів, щоб вибрати відповідне співвідношення рідких пестицидів і води. Високі температури можуть прискорити випаровування крапель і зменшити розмір крапель. Висока вологість призводить до збільшення розміру крапель у повітрі. Низька вологість може призвести до того, що краплі води в повітрі зменшаться через дифузію вологи. Зі збільшенням вологості навколишнього середовища розмір, покриття та об'єм осадження крапель збільшаться. У температурному діапазоні 10~29°C температурні умови не мають істотного впливу на осадження крапель визначили взаємозв'язок між характеристиками рослинного покриву та погодними параметрами, що впливають на відкладення повітряного розпилення на листі бавовнику та дині. Підвищення відносної вологості істотно збільшило відкладення на середньому рівні пологу, але не мало істотного впливу на верхній рівень пологу. При більш високій відносній вологості осідають краплі води, як правило, більші. Зі збільшенням індексу площі листя (LAI) осад і розмір крапель води, що осідають на середньому рівні крони, зменшуються.

розробив надійну програму вимірювання дрейфу обприскувача зі штангою розпилювача та успішно здійснив багато експериментів з дрейфом. Ці вимірювання доводять важливий вплив погодних умов на дрейф осаджених бризок. Було створено рівняння прогнозування дрейфу еталонного розпилення для прогнозування очікуваної амплітуди дрейфу осадження за різних відстаней дрейфу та атмосферних умов (швидкість вітру та температура). Крім того, виявили, що ефект осадження крапель і проникність БПЛА вночі вищі, ніж удень.

При використанні БПЛА необхідно визначити співвідношення пестицидів і води та відповідні параметри польоту відповідно до погодних умов.

3.5 Процедури польоту у відповідь на навколишній вітер

Хоча величину та напрямок зовнішньої швидкості вітру неможливо змінити, несприятливий вплив зовнішнього вітру на осадження крапель можна пом'якшити шляхом коригування траєкторії руху БПЛА. Завдяки кількісній оцінці та аналізу двовимірної моделі осадження БПЛА під час обприскування однієї рослини ступінь зміщення за вітром не має нічого спільного зі швидкістю вітру, яка вказується під час польоту БПЛА. У напрямку за вітром дрейф крапель води зменшується. Лише у випадку бокового вітру відбуватиметься дрейф крапель. Коли швидкість бокового вітру перевищує 3 м/с, зона проникнення значно зменшується, що не підходить для експлуатації. Зі збільшенням швидкості вітру в реальному часі та висоти роботи БПЛА площа в зоні розпилення та осадження розпилювань значно змінилися. Під час обприскування рослин ананаса робоча висота БПЛА має бути менше 2,5 м, а швидкість вітру – 5 м/с або менше. Коли параметри БПЛА становлять висоту польоту 1,5–3 м і швидкість польоту 2,4–5 м/с, дрейф краплі відбувається лише в напрямку вітру. Зі збільшенням висоти опір дрейфуванню потоку повітря, що промиває БПЛА, поступово зростає використовували алгоритми DQN і PSO для коригування траєкторії польоту відповідно до вітрових умов навколишнього середовища таким чином, щоб дрейф крапель зменшився на 50%, а кількість

осідлих крапель збільшилася. Використовували Adaptation to the Environment (AdEn), систему, яка регулює політ відповідно до різних рівнів вітру. Експериментальні результати показали, що він має кращу ефективність проти знесення під контролем системи.

Підсумовуючи, хоча ми знаємо, що при виконанні операцій із захисту рослин у напрямку навколишнього вітру явище дрейфу крапель зменшується, а напрямок навколишнього вітру постійно змінюється, змінюючи напрямок польоту весь час під час виконання польоту неодмінно призведе до серйозного зниження ефективності експлуатації, тому необхідні додаткові дослідження для покращення цього аспекту.

3.6 Виконання польоту відповідно до рельєфу або форми рослин

Під час операцій із захисту рослин, коли зустрічаються рослини різної форми, застосування різних параметрів обприскування змінить ефект осадження. Щоб вивчити вплив форми персикового дерева на покриття БПЛА. Він розділив персикові дерева на два типи: форму CL та форму Y, і дійшов висновку, що рівномірність обприскування типів Y та CL різна. Для Y-подібних персиків покриття краплями зовнішнього шару значно вище, ніж покриття нижнього шару, а для персиків CL-форми покриття краплями верхнього шару значно вище, ніж трьох нижніх шарів. Для Y-подібного персика «одне обприскування» краще, ніж «два обприскування» для заданої кількості розпилення на одиницю площі. Для CL-подібних персиків збільшення загальної витрати сопла з 1,8 до 2,2 л хв⁻¹ значно покращене покриття крапель у певних місцях, включаючи два верхніх і нижніх шари. Під час розпилення БПЛА земля може бути хвилястою, тому висота БПЛА відносно поверхні рослин може змінюватися. Запропонували метод наземної імітації польоту. Схил оцінюється за допомогою радара міліметрового діапазону, встановленого спереду. Коли коливання нахилу невелике, диференціальна висота GPS і висота радіолокатора міліметрового діапазону від землі до землі поєднуються з фільтрацією Калмана для підвищення точності. Коли порогове значення досягнуто, висоти

переднього радара міліметрових хвиль і наземного радара міліметрових хвиль об'єднуються з інформацією про висоту з кількох радарів для покращення швидкості реагування. Нарешті, для керування висотою БПЛА використовується алгоритм нечіткого ПД-регулювання. Завдяки моделюванню та польовим польотним випробуванням мета похибки висоти польоту для імітації похилої поверхні БПЛА для захисту рослин становить менше 40 см.

3.7 Методи покращення ефекту осадження

На додаток до зміни робочих параметрів БПЛА, згаданих у попередньому розділі, методи електростатичного розпилення та змінного розпилення також можуть покращити ефект осадження, але, на відміну від зміни робочих параметрів БПЛА, обидва способи вимагають структурних коригувань системи розпилення та нового керування. системи повинні бути додані. Зазвичай використовуваними методами розпилення були електростатичне розпилення та змінне розпилення. Перевага електростатичного обприскування полягала в тому, що воно створювало електростатичну силу між поверхнею рослини та краплями, що активно збільшувало кількість осадження крапель. Недолік полягав у тому, що було важко підтримувати напруженість поля на БПЛА на нульовому рівні, і заряджені краплі можуть накопичуватися на БПЛА та впливати на безпеку польоту. Змінне розпилення означає зміну параметрів розпилення відповідно до інформації про навколишнє середовище, отриманої датчиками, такої як швидкість вітру, висота рослинності, форма рослинності тощо, таким чином активно зменшуючи дрейф крапель або випаровування. Змінне розпилення головним чином змінює об'єм розпилення, що дійсно зменшує втрату крапель, але не настільки ефективно для посилення осадження крапель, як електростатичний розпилювач.

3.8 Удосконалення насадок

Дрейф і розподіл крапель залежать від характеристик розподілу повітряного потоку БПЛА та розміру крапель сопла, що безпосередньо

пов'язано з ефектом контролю пестицидів. Для крапель спрею різного розміру краплі невеликого розміру легше дрейфують.

Насадка є важливою частиною БПЛА для захисту рослин, і її ефективність розпилення безпосередньо впливає на осадження та перенесення пестицидів. Зазвичай використовувані типи форсунок - це гідравлічні форсунки та роторні розпилювачі. Гідравлічні форсунки мають довгу історію і широкий асортимент типів. Перевірили продуктивність повітряної форсунки IDK120–015 і порожнистої конічної форсунки TR 80–0067. При швидкості 3,11–3,79 м/с при боковому вітрі, порівняно з традиційними соплами HCN розпилювачів БПЛА, застосування AIN сприяє осадженню та рівномірності розпилення та значно зменшує осадження та дрейф повітря. Новий тип форсунки з каналом зворотного зв'язку, яка може більш рівномірно розпилювати менші краплі. Наявність каналу зворотного зв'язку ефективно зменшує діаметр крапель і покращує рівномірність розпилення. Об'єднали систему повітряної підтримки з високошвидкісним обертовим дисковим соплом, щоб збільшити проникнення спрею та осадження та зменшити вплив дрейфу.

Потенціал дрейфу широко використовуваних сільськогосподарських БПЛА є дуже крихким. Проникнення та однорідність БПЛА потребують подальшого вдосконалення, тому необхідно активно застосовувати методи, щоб допомогти зменшити дрейф, наприклад, нахил кута сопла. Удосконалення форсунки загалом може безпосередньо впливати на якість розпилення. Удосконалюючи насадку, необхідно враховувати баланс між рівномірністю та проникненням. У той же час довговічність також є важливим фактором для сільськогосподарських насадок.

3.9 Електростатичні системи розпилення

Техніка електростатичного розпилення означає створення електричного поля між системою розпилення та поверхнею культури, завдяки чому краплі рухаються до поверхні культури під дією електричного поля, таким чином збільшуючи осадження крапель і проникаючу здатність. Існує три методи для

електростатичної системи: метод коронного заряду, індукційний метод заряду та метод контактного заряду. Індикатором для вимірювання якості електростатичного розпилення є співвідношення заряду до маси (CMR), зазвичай чим більше співвідношення заряду до маси, тим кращий ефект осадження. Системи електростатичного розпилення БПЛА зазвичай використовують метод біполярного з'єднання, щоб забезпечити нульовий потенціал БПЛА.

У процесі електростатичного розпилення шляхом індукційного заряджання зарядний електрод безпосередньо впливає на результат заряджання краплі. При напрузі заряду 8 кВ для міді відношення заряду до маси системи розпилення може досягати 0,22 мКл/кг. Нікелевий електрод досягає 1,65 мКл/кг при зарядній напрузі 3,0 кВ. На основі співвідношення між провідністю рідини, положенням електрода на соплі та CMR розроблено корпус для кріплення електродів. Патель створив модель CFD для вивчення електричного розподілу та руху заряджених крапель, і результати показали, що радіальний дрейф крапель збільшується зі збільшенням напруги, причому менші краплі дрейфують серйозніше. Створили імітаційну модель COSOML для аналізу сили крапель, викинутих електростатичною системою розпилення. Ці дослідження заклали основу для розробки нових електростатичних систем розпилення. Було розроблено електростатичну систему розпилення пестицидів, яка має зовнішній кільцеподібний індукційний зарядний електрод навколо високошвидкісної гідравлічної форсунки. Коли напругу, прикладену до електрода, поступово збільшували до 4 кВ, CMR крапель розпилення збільшувався. Коли зазор між конусом розпилювача та електродом зменшується, CMR збільшується. З іншого боку, зі збільшенням швидкості потоку сопла CMR зменшується.

У порівнянні з традиційними системами розпилення, електростатичне розпилення може значно збільшити швидкість осадження крапель. Мартін та ін. (2019) використовували біполярну електростатичну систему повітряного розпилення для обприскування ранньостиглої бавовни з нормою розпилення 9,35 л/га. При зарядній напрузі $\pm 9,0$ кВ електростатично заряджений спрей

значно збільшив відкладення на штучному колекторі на 34,5% порівняно з незарядженим спреєм. розробили авіаційну електростатичну систему розпилення біполярного контактного типу. Порівняно з неелектростатичним спреєм, електростатичний спрей збільшив осадження крапель на $0,0143 \text{ мкг/см}^2$. Чжао та ін. (2020) запропонував електростатичний генератор високої напруги, який позитивно і негативно заряджається для рідини в двох ізольованих резервуарах для води. Схема перенесення заряду була розроблена в просторі між бортовою електростатичною системою розпилення та землею. Цей метод значно підвищив ефективність адсорбції за зовнішніх умов. Щільність крапель на передній частині мішені зростає на 16,7%.

3.10 Системи змінного розпилення та системи моніторингу

Щоб зменшити кількість відходів пестицидів, система керування БПЛА повинна виконувати різні параметри розпилення відповідно до різних умов навколишнього середовища. Як правило, різні стани розпилення можна отримати шляхом регулювання перемикача розпилення, витрати, тиску та інших параметрів. Це завдання висуває високі вимоги до точності та швидкості налаштування БПЛА. Досліджували тенденцію зміни розподілу осадження крапель зі швидкістю вітру, розміром краплі, висотою польоту, напрямком вітру ротора та кутом розпилення сопла за змінних умов розпилення в межах горизонтальної відстані 1~4 м, і отримали дисперсії в багатовимірному модель лінійного прогнозування. Використовуючи основу для управління БПЛА в режимі реального часу. Вегетаційні індекси (VI) можна використовувати для оцінки норм внесення бавовнику. Щоб максимізувати врожайність бавовни, було розроблено рівняння на основі VI, яке вкаже ідеальну норму внесення. Зроблено висновок, що зростання вегетаційного індексу потребує збільшення норми обприскування для підтримки відносного осадження обприскування в середньому шарі рослин бавовнику. Порівняли три різні методи оцінки об'єму деревних рядів (TRV) в оливкових садах із надвисокою щільністю за допомогою фотограмметрії з дронів. (2019). Таким чином, аерофотозйомка БПЛА може

точно оцінити кількість біомаси в полі, таким чином створюючи більш точні карти рецептів і ще більше зменшуючи використання пестицидів. Сканує зовнішній вигляд дерева, висоту та ширину, а також щільність його листя за допомогою високошвидкісних лазерних скануючих датчиків, а потім контролює потік обприскування через електромагнітні клапани. Експерименти показують, що система не має різниці в покритті краплями крони, коли стикається з деревами різного розміру та щільності листя. Щоб забезпечити рівномірну кількість розпилення на одиницю площі, запропонували набір моделей управління змінним повітряним розпиленням БПЛА та розробили відповідну систему керування на основі технології повітряного змінного розпилення. Система може регулювати відкриття електромагнітного клапана за допомогою пневматичної моделі керування розпиленням відповідно до змін параметрів польоту. Діапазон системного відхилення становить від 0,11 до 9,79%. використовували передавач тиску вітру для вимірювання швидкості польоту БПЛА. Відповідно до швидкості польоту широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) для адаптивного змінного розпилення. У той же час фактичний потік розпилювача вимірювався через датчик потоку, а потік розпилювався регулювався за допомогою алгоритму ПІД-регулювання на основі нейронної мережі використовували ШІМ-контролер для досягнення високоточного розпилення. запропонували систему розпилення, яка може регулювати кут розпилення та тиск відповідно до швидкості вітру та його змін, щоб зменшити дрейф крапель. Покращив діапазон розпилення та зменшив використання пестицидів, змінивши розподіл форсунок на штанзі БПЛА.

З розвитком технології машинного зору здатність БПЛА сприймати навколишнє середовище була значно покращена. Це дозволяє БПЛА регулювати параметри розпилення в режимі реального часу на основі врожаю та отриманої інформації про навколишнє середовище. Цей метод зазвичай реалізується двома способами. Перший полягає в тому, щоб спочатку отримати карту врожаю, а потім комбінувати позиціонування БПЛА для досягнення точного обприскування. Запропонували систему зі змінною швидкістю розпилення.

Система вперше робить знімок обприсканого рисового поля, ділить його на кілька сіток і створює індексну карту для регулювання норми обприскування. Запропонував систему змінного розпилення на основі PID та PWM, використовуючи карту приписів із програмного забезпечення ArcMap для керування системою змінного розпилення для роботи відповідно до карти приписів. Використали алгоритм Люсі-Річардсона для сегментації відкритого простору та рослинності. Коли система розпилення знаходиться на відкритому просторі, система припинить розпилення. Кампос та ін. використовували мультиспектральну камеру, встановлену на БПЛА, щоб отримати карту життєдіяльності навісу всієї ділянки. Він може перетворити діаграму крони дерев на практичну діаграму приписів і змінювати робочі параметри (тиск) у режимі реального часу відповідно до карти приписів. Інший метод використовує датчики для отримання інформації про врожай і навколишнє середовище в реальному часі, а потім точно регулює параметри розпилення. Розробили метод глибокого навчання для визначення ділянок коріандру в режимі реального часу для досягнення точного розпилення. Використовували БПЛА для картографування бур'янів та управління конкретними місцями (UAV-IS), розпилюючи бур'яни в певних місцях, щоб зменшити використання пестицидів. Методи Ex-Green і Ex-Red також були використані для побудови моделі рисового навісу. Оцінюючи покриття рисового покриву під БПЛА в режимі реального часу, робочий статус сопла БПЛА було налаштовано на повне розпилення, половину розпилення та відсутність розпилення. Час відгуку системи значно скоротився до 15,765 мс. Враховуючи попит на економію хімікатів, був створений алгоритм нормалізованого індексу різниці рослинності (NDVI), щоб визначити точне місце, де потрібні хімікати.

На додаток до обробки зображень, деякі дослідники використовували датчики погоди або зграї БПЛА для спільної роботи для досягнення кращих результатів розпилення. Faiçal та ін запропонували метод на основі оптимізації рою частинок (PSO) для точного налаштування правил контролю під час розпилення пестицидів на сільськогосподарських угіддях. Враховуючи погодні

умови, про які повідомляє бездротова сенсорна мережа (WSN), цей метод можна застосувати швидко й ефективно. У цьому випадку БПЛА стає мобільним вузлом WSN і може приймати персоналізовані рішення для кожної сільськогосподарської землі. Івіч та ін запропонував автономний метод керування алгоритмом ройового розпилення БПЛА на основі багатоагентного методу покриття зони, керованого термічним рівнянням покриття зони (HEDAC). У порівнянні з традиційним плануванням траєкторії, обприскування HEDAC зазвичай може зменшити надмірне розпилення приблизно на 3–8%. У практичних застосуваннях очікується, що група розпилення БПЛА, керована за допомогою HEDAC, буде значно кращою, ніж БПЛА, що працюють із застосуванням існуючих методів планування траєкторії.

Як правило, система змінного розпилення потребує, по-перше, чудового алгоритму, щоб забезпечити швидкість і точність налаштування, а по-друге, вона потребує використання інших датчиків для визначення зовнішнього середовища та прийняття рішень, які сприяють збереженню пестицидів.

Ефективність розпилення пестицидів БПЛА була тісно пов'язана з параметрами польоту, включаючи швидкість, висоту та тиск. Вибір відповідних параметрів польоту відповідно до різних сценаріїв місії може ефективно покращити ефект розпилення та зменшити відходи пестицидів. Існували три основні зовнішні чинники, які впливають на ефект обприскування безпілотниками: вітер, рівнинність місцевості та висота посівів. Удосконалення насадки покращило рівномірність розпилення, а використання електростатичного розпилювача покращує ефект осадження пестициду. Використання передових форсунок у поєднанні з технологією електростатичного розпилення дуже добре впливає на зменшення втрати крапель. Під час роботи на рівних регулярних полях системі розпилення БПЛА потрібна лише електростатична сила електростатичної системи розпилення для досягнення хороших результатів осадження. Змінне обприскування є одним із найефективніших методів утилізації пестицидів за сучасних технологічних можливостей. Різноманітне обприскування особливо важливо на нерівних,

неправильних полях або коли рослини відрізняються за висотою та формою. Завдяки постійній інтеграції нових технологій і нових алгоритмів БПЛА, оснащені системами змінного розпилення, матимуть краще сприйняття навколишнього середовища, здатність приймати рішення про траєкторію та точність керування розпиленням.

Крім того, є також ідея зменшити відходи пестицидів шляхом впровадження інших машин або хімікатів. Використовує комбінацію БПЛА та моторних човнів. БПЛА забезпечує позиціонування GPS, а моторний човен використовується для прополки на рисових полях, уникаючи проблеми дрейфу пестицидів у повітрі. Процес попереднього змочування може зменшити контактний кут між краплею та лезом, полегшуючи змочування та поширення краплі, тим самим збільшуючи кількість осадження та покращуючи ефективність. Гідрогель дикамби додано до хімічного розчину, щоб збільшити осадження хімічного розчину та зменшити забруднення навколишнього середовища, спричинене розпиленням пестицидів

3.11 Висновок

Наведені вище посилання вперше представили фактори, які впливають на осадження пестицидів, включаючи параметри польоту БПЛА та параметри навколишнього середовища. По-друге, щоб впоратися з вищевказаними факторами та зменшити відходи пестицидів, дослідники вдосконалили розпилювальні форсунки та принципи розпилення, а також запропонували різні змінні алгоритми розпилення. Їх зв'язок показаний на малюнку. У фактичній конструкції БПЛА та систем розпилення для зменшення відходів пестицидів може знадобитися налаштувати різні параметри та поєднати декілька методів. Крім того, через різні еталони, що використовують різні БПЛА та системи розпилення, ці еталони можуть стати незастосовними, особливо при впровадженні нових методів. Використання існуючої системи БПЛА, під час встановлення параметрів польоту, швидкості 1,5–3 м/с та висоти 2–3,5 м на

основі різних культур, можна досягти відносно хорошої рівномірності розпилення. Для подальшого підвищення коефіцієнта використання та ефекту розпилення пестицидів необхідно вдосконалити систему БПЛА або запропонувати новий алгоритм керування. Порівняно з удосконаленням обладнання БПЛА, дуже економічно вигідно пропонувати нові алгоритми для кращого керування розпиленням БПЛА. Виявлено два можливі напрямки, які не були вивчені. По-перше, коли БПЛА прискорюється, він неминуче матиме кут нахилу вперед. Це явище є принципом БПЛА, що летить вперед, і призведе до того, що система розпилення матиме кут нахилу до землі. Більший кут нахилу призводив до більш несприятливого осадження крапель. Незважаючи на дослідження щодо стабілізації положення БПЛА в польоті, кут нахилу системи розпилення до землі все ще існує. Якщо налаштувати механізм для зміни кута нахилу системи розпилення таким чином, щоб вона завжди була перпендикулярна до землі, ефект осадження крапель буде додатково покращений. Крім того, деякі фактори, які впливають на осадження крапель, деякі не були вивчені, тому неможливо внести відповідні корективи для зменшення відходів пестицидів.

РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ

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 врахуванням дії похибок кожного з сенсорів. Для цього використовують довірчі інтервали, що гарантують знаходження певного інтервалу у проміжку з певною ймовірністю [1]. Найбільш застосовуваними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, що забезпечує 95% локалізації вимірних 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 вимірних даних на програмному рівні [2]. Дані сенсорів переводяться до цифрового вигляду за допомогою дискретизації аналогових значень. Результати вимірювань у цифровому вигляді зберігаються у відповідних регістрах, змінних, матрицях чи архівах даних.

Визначення точного місцеположення повітряного корабля (ПК) є однією з найважливіших задач цивільної авіації [3-5]. 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 повздовжньому 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.

4.1. 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 всеспрямовані антени системи [6, 7]. 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 знаходиться 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 [8, 9]. Зокрема, обчислювальний кластери компаній Flightradar24 та Flightaware забезпечує одночасну обробку даних від більше ніж 30 тис програмно-керованих приймачів [10] сигналів ADS-B розміщених по всій планеті (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Мапа глобального трафіку [10]

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 ADB340F (Antonov Design Bureau 340F), що забезпечуються авіакомпанією Antonov Design Bureau зі сполученням LEIPZIG / HALLE, GERMANY (LEJ) та POMEZIA, ITALY (LIRE). Дата вильоту 13 листопада 2022 о 05:06 AM CET. Дата посадки 13 листопада о 06:45AM CET. Політ завершився раніше на 6 хвилин від запланованого часу посадки. Політ виконувався на Antonov An-124 Ruslan (quad-jet). Вхідні дані отримано від архіву за посиланням

<https://flightaware.com/live/flight/ADB340F/history> 20221113/0412Z/EDDP/LIRE.

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

Таблиця 4.1. Траєкторні дані рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

Час (EEST)	Широта	Довгота	Курс	Швидкість (kts)	Швидкість (mph)	Висота (фут)
Sat 11:06:15 PM	51.4137	12.2535	→ 88°	140	161	600
Sat 11:06:31 PM	51.4137	12.2689	→ 90°	139	160	925
Sat 11:06:47 PM	51.4142	12.2855	→ 84°	144	166	1,200
Sat 11:07:03 PM	51.4157	12.3020	→ 82°	148	170	1,400
Sat 11:07:19 PM	51.4172	12.3213	→ 84°	151	174	1,700
Sat 11:07:35 PM	51.4182	12.3375	→ 84°	153	176	1,950
Sat 11:08:02 PM	51.4203	12.3679	→ 85°	156	180	2,350
Sat 11:08:32 PM	51.4220	12.4066	→ 87°	176	203	2,600
Sat 11:08:56 PM	51.4223	12.4402	→ 88°	202	232	2,775
Sat 11:09:20 PM	51.4241	12.4757	→ 88°	212	244	3,150
Sat 11:09:38 PM	51.4205	12.5070	↘ 111°	229	264	3,325
Sat 11:09:59 PM	51.4095	12.5360	↘ 127°	250	288	3,500
Sat 11:10:15 PM	51.3943	12.5546	↓ 156°	265	305	3,750
Sat 11:10:39 PM	51.3632	12.5578	↓ 183°	274	315	4,375
Sat 11:11:08 PM	51.3257	12.5590	↓ 177°	277	319	5,200
			...			
Sun 12:38:28 AM	41.8591	12.5429	↓ 165°	221	254	2,543
Sun 12:39:00 AM	41.8276	12.5498	↓ 187°	225	259	2,143
Sun 12:40:08 AM	41.7825	12.4830	← 249°	218	251	2,225
Sun 12:40:39 AM	41.7726	12.4443	← 253°	201	231	2,225
Sun 12:41:07 AM	41.7654	12.4112	← 251°	185	213	2,225
Sun 12:41:27 AM	41.7557	12.3930	↙ 220°	177	204	1,950
Sun 12:41:51 AM	41.7417	12.3795	↙ 209°	162	186	1,725
Sun 12:42:08 AM	41.7289	12.3735	↓ 186°	154	177	1,450
Sun 12:42:27 AM	41.7157	12.3755	↓ 167°	155	178	1,150
Sun 12:42:43 AM	41.7045	12.3799	↓ 159°	150	173	925
Sun 12:43:00 AM	41.6954	12.3861	↘ 149°	144	166	750
Sun 12:43:18 AM	41.6857	12.3956	↘ 139°	138	159	575
Sun 12:43:34 AM	41.6785	12.4053	↘ 132°	137	158	400
Sun 12:43:50 AM	41.6722	12.4151	↘ 130°	141	162	250
Sun 12:44:06 AM	41.6655	12.4259	↘ 130°	143	165	25

4.2. Візуалізація траєкторних даних у програмному забезпеченні

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу ADB340F від 13 листопада 2022 у програмне забезпечення MATLAB [11]. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.4.2., а вертикальний профіль представлено на рис. 4.3.

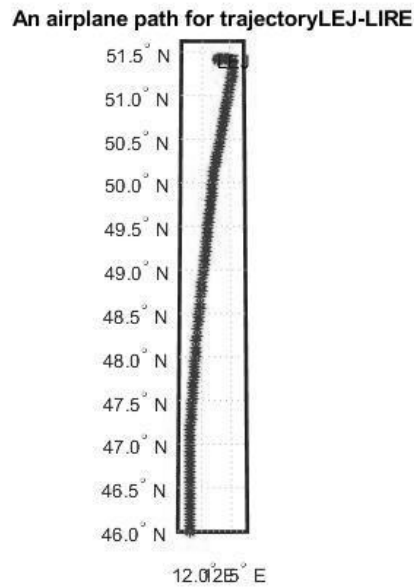


Рисунок 4.2 – Траєкторія руху рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

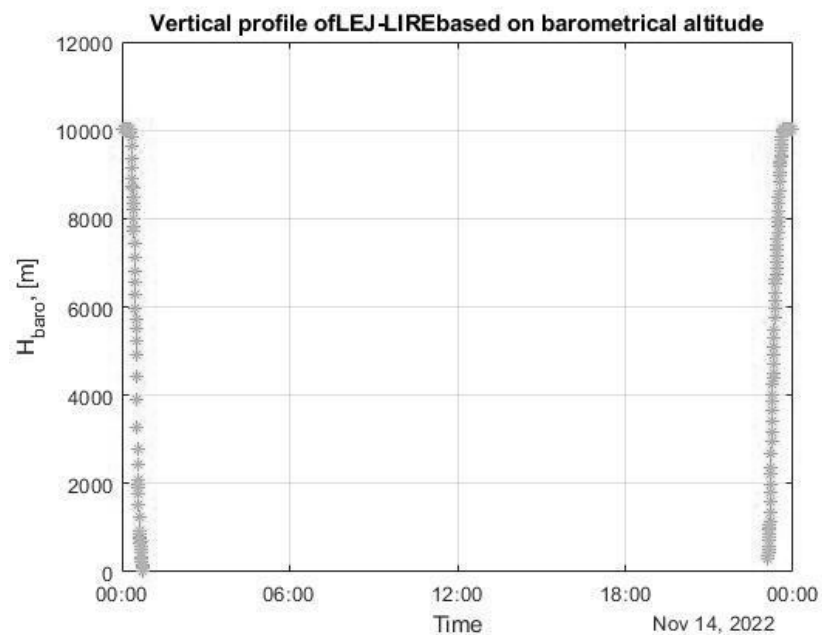


Рисунок 4.3 – Вертикальний профіль рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

4.3. 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 1090МГц 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 один 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 використаємо координати першої точки траєкторії. Результати візуалізації траєкторії у локальній системі показано на рис. 4.7 та рис. 4.8.

An airplane path for trajectory LEJ-LIRE with interpolated data

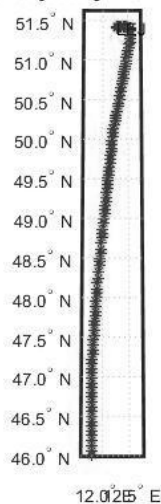


Рисунок 4.4 – Інтерпольована траєкторія руху ПК рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

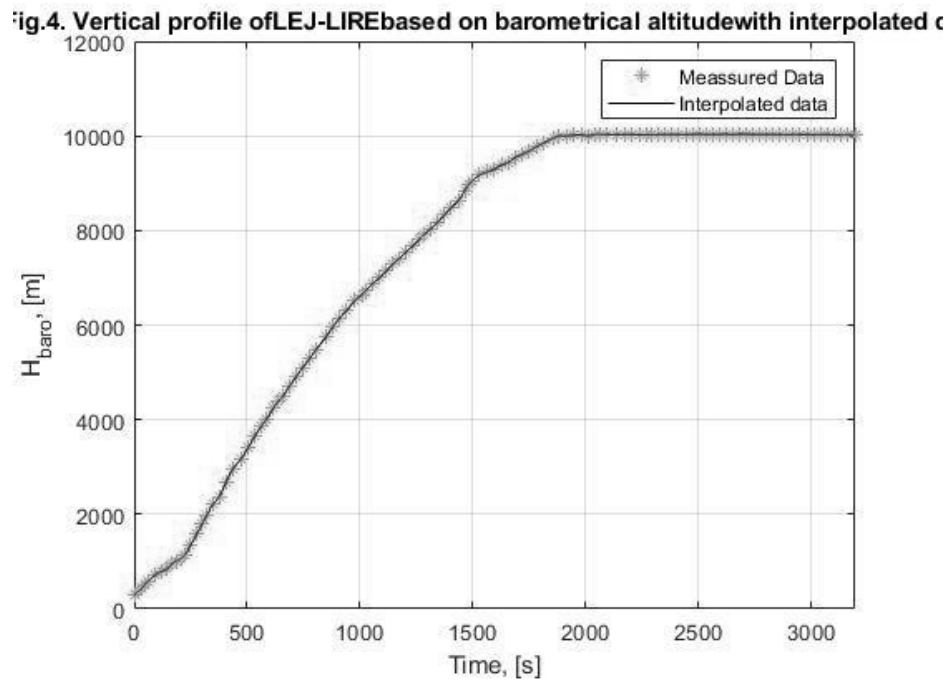


Рисунок 4.5 – Інтерпольований вертикальний профіль ПК рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

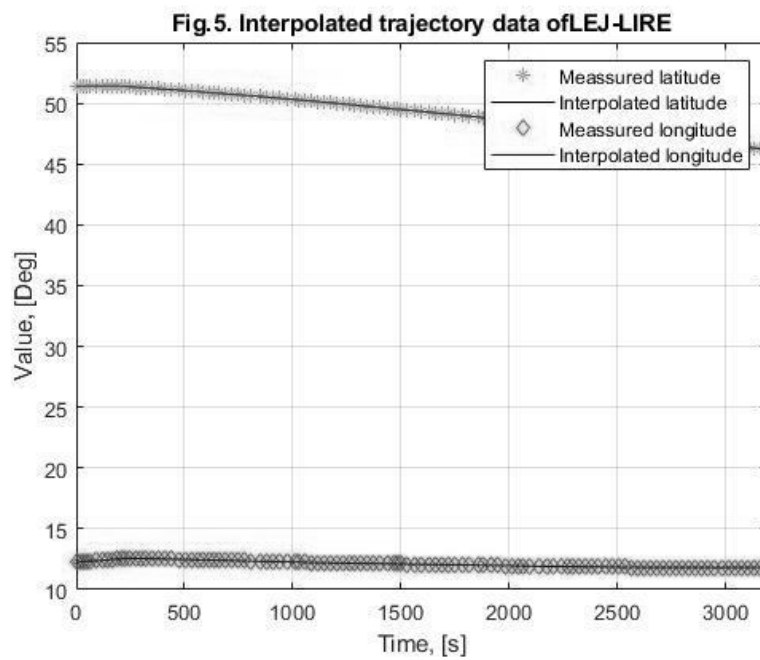


Рисунок 4.6 – Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

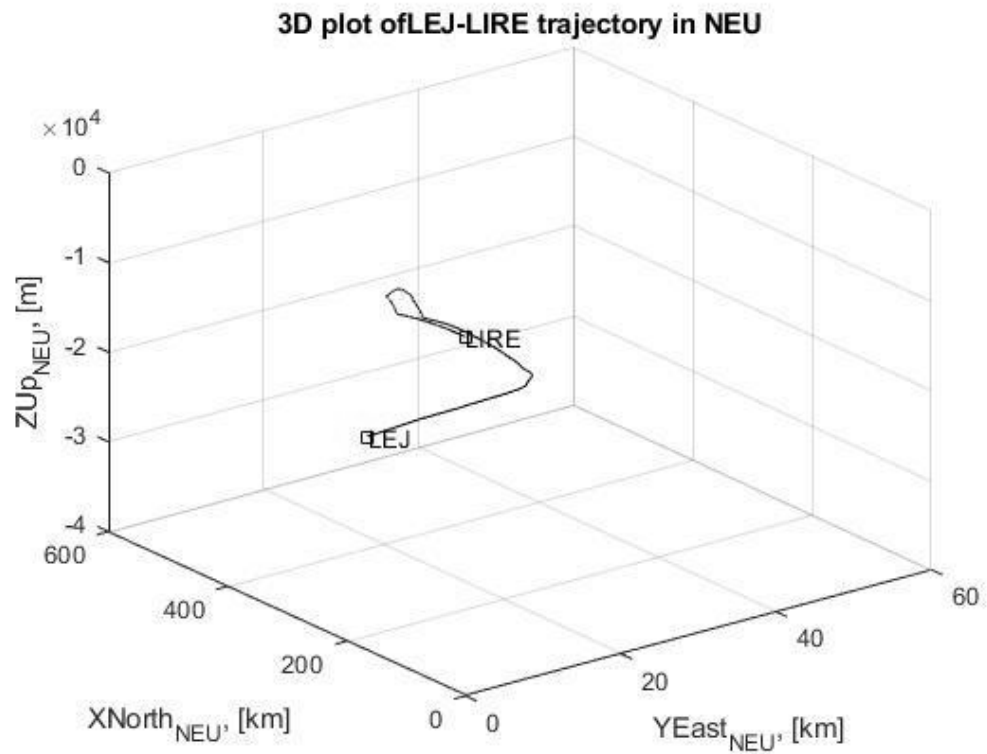


Рисунок 4.7 – Траекторія руху рейсу ADB340F у локальній системі координат

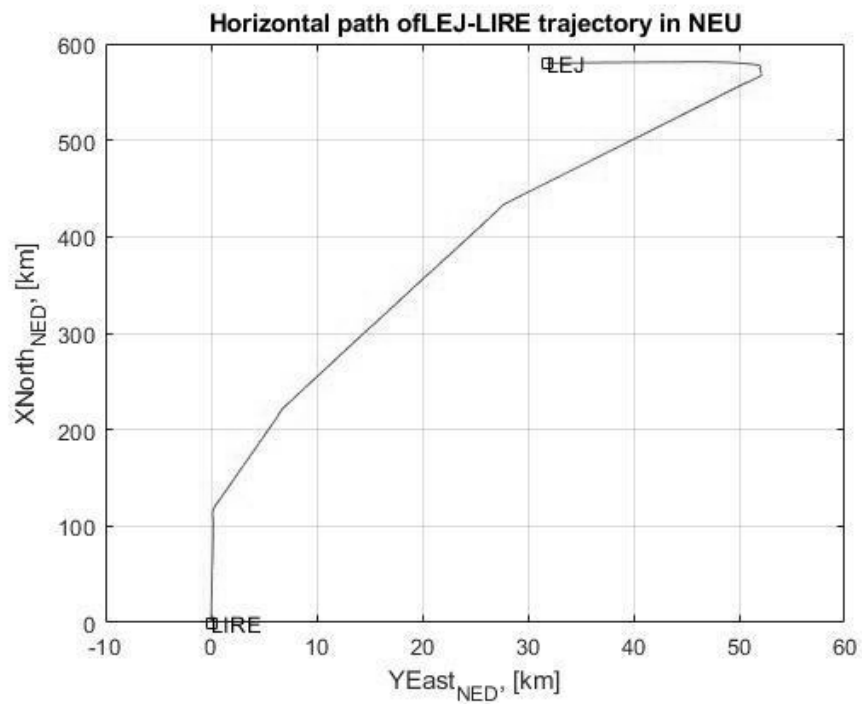


Рисунок 4.8 – Шлях руху рейсу ADB340F у локальній системі координат

4.4. 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, та довжину маршруту та траєкторії.

Загальний час польоту рейсу ADB340F від 13 листопада 2022 склав 1 години 49 хв 49 с. Довжина траєкторії – 1277.2 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 1276.7 км.

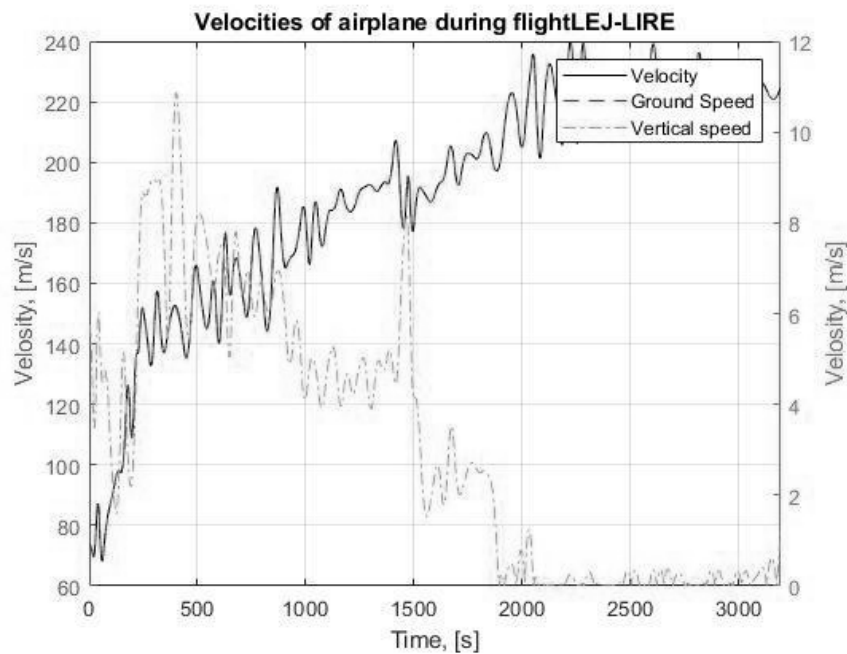


Рисунок 4.9 – Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

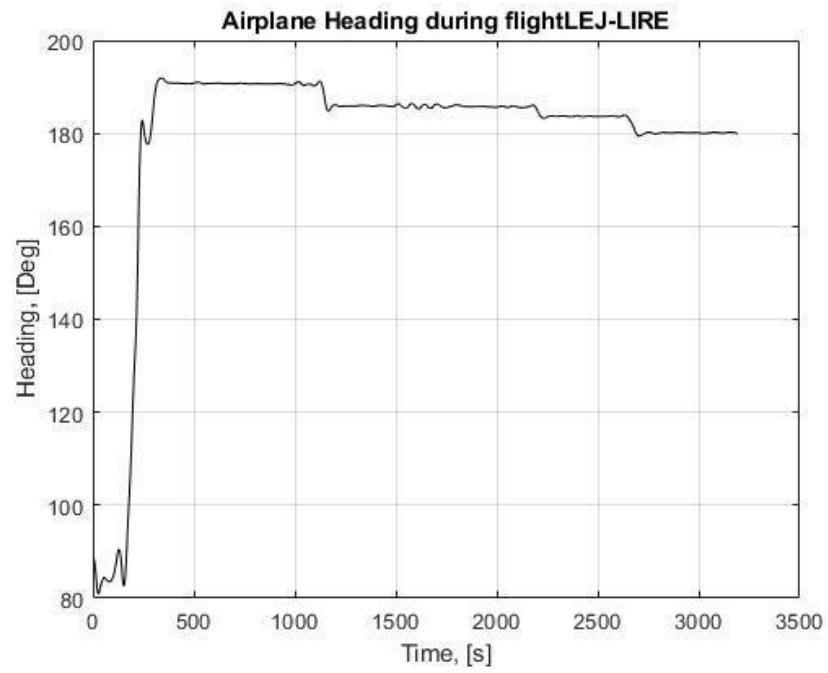


Рисунок 4.10 – Результати розрахунку курсу для рейсу ADB340F від 13 листопада 2022

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ

Охорона праці – це система правових соціально–економічних, організаційно–технічних, санітарно–гігієнічних та лікувально–профілактичних заходів і засобів щодо створення умов, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, закони України: “Про охорону праці”, “Про охорону здоров'я”, “Про пожежну безпеку”, “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Основні положення щодо реалізації конституційного права громадян про охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулювання за участю відповідних державних органів відносин між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни, праці та виробничого середовища і встановлення єдиного порядку організації охорони праці в Україні визначаються Законом України “Про охорону праці”, прийнятим 14 жовтня 1992 року.

Загальні положення по техніці безпеки при обслуговуванні приладів зв'язку викладені в “Правилах технічної експлуатації апаратури провідного та радіозв'язку” та “Інструкції по техніці безпеки і виробничої санітарії для електромеханіків та електромонтерів”.

Найважливішою умовою нормальної експлуатації пристроїв радіо зв'язку є виконання заходів щодо охорони праці. Вони спрямовані на утворення нормальних умов праці і безпечної роботи обслуговуючого персоналу.

Однією з найважливіших задач організації робочих місць й удосконалювання умов праці є створення сприятливих фізіологічних та санітарно–гігієнічних умов на виробництві. При цьому основну увагу необхідно

приділяти стану повітряного середовища, рівням освітленості, шуму, вібрації, покращенню санітарно–побутового обслуговування, дотриманню режиму праці та відпочинку [10].

У робочому помешканні рекомендується комбіноване освітлення. Для загального освітлення застосовуються люмінесцентні світильники. Для місцевого освітлення, при роботі на стояках, варто використовувати переносні лампи напругою 36 – 40 В. Розетки з напругою 36 В повинні відрізнятися від розеток 220 В за формою і повинні бути відповідним чином підписані.

Для того, щоб у виробничих приміщеннях завжди було чисте повітря їх обладнують достатньою примусовою вентиляцією або періодично провітрюють.

Вибір системи вентиляції залежить від призначення будівлі та її об'єму, характеру виділення та вимог до системи вентиляції.

Сильний, постійно діючий шум шкідливо відбивається на здоров'ї людей та їх працездатності. Основними засобами боротьби з шумом є звукопоглинання, звукоізоляція, застосування глушителів шуму. Застосовуються й особисті засоби захисту від шуму, наприклад, спеціальні звуковбирні навушники різноманітних типів. Добрий ефект надає обробка звуковбирними матеріалами стін та стель у цехах з великим рівнем шуму.

До робочого місця регулювальника апаратури відноситься ділянка, на якій він проводить регулювальні профілактичні та ремонтні заходи. На робочому місці повинні знаходитися: принципіальні схеми устаткування, схеми електроживлення, посадові інструкції, графіки технологічних процесів, оперативний журнал, справний повний комплект інструменту, діелектричні рукавички, аптечка, вогнегасники, необхідний запас матеріалу для виконання профілактичних робіт. Інструмент повинен знаходитися в зручному та доступному місці удалині від пристроїв під напругою.

До роботи з устаткуванням припускаються особи, що ознайомилися з інструкцією експлуатації на систему, що мають кваліфікаційну групу по

електробезпечності не нижче III, які знають “Правила технічної експлуатації апаратури провідного і радіозв'язку” та пройшли інструктаж з техніки безпеки.

5.1 Розрахунок освітлення приміщення проектувальника апаратури

Приміщення повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II–4–79 "Естественное и искусственное освещение".

Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Розрахунки КПО проводяться відповідно до СНиП II–4–79.

Робочі місця повинні бути достатньо освітлені. При штучному освітленні необхідно дивитися за тим, щоб воно було рівномірним. Цією умовою обумовлено використання комбінованого освітлення: загального та місцевого. При лампах накаливання загальне освітлення повинно складати 20%, місцеве – 80%; при люмінесцентному – загальне освітлення – 30%, місцеве – 70%.

Одним з основних питань охорони праці є організація раціонального освітлення виробничих приміщень.

Виробниче освітлення, правильно спроектоване і виконане, поліпшує умови здорової роботи, знижує стомленість, сприяє підвищенню продуктивності праці, сприятливо впливає на виробниче середовище, що чинить позитивний психологічний вплив на працівника, підвищує безпеку праці і знижує травматизм.

В усіх виробничих приміщеннях з постійним перебуванням у них людей для робіт у денний час варто передбачити природне освітлення як більш економічне й досконале з погляду медико–санітарних вимог у порівнянні зі штучним освітленням.

Раціональне електричне освітлення не можна вирішити довільним розміщенням джерел світла. Для вірного вибору світлового режиму необхідно знати норми освітлення, а також враховувати комплекс світлотехнічних і гігієнічних питань.

Проведемо розрахунок освітлення за методом коефіцієнта використання світлового потоку [11].

Цей метод дає можливість визначити світловий потік ламп, необхідне для досягнення заданої освітленості, або при заданому світловому потоці знайти освітленість. Метод використовується для розрахунку повного освітлення при горизонтальній робочій поверхні з урахуванням світла, відбитого стінами, стелею та підлогою.

Світловий потік лампи розраховується за формулою, лм:

$$F = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot N \cdot n}, \quad (5.1)$$

де E_H – нормативна величина освітленості, лк;

K – коефіцієнт запасу вводять для компенсації зниження освітленості від старіння ламп;

S – площа поверхні, що освітлюється, м²;

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (цей коефіцієнт вводять у зв'язку з тим, що нормується не середня, а мінімальна освітленість);

N – число світильників;

n – число ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці, тобто відношення світлового потоку, що падає на поверхню, що розраховується, до сумарного потоку.

Згідно із санітарно–гігієнічними та технічними нормами використаємо люмінесцентні лампи з наступними характеристиками: $E_H = 750$ лк; $F = 4220$ лм; $K = 1,3$; $n = 2$. Розмір приміщення $A = 8$ м; $B = 5$ м; $h = 2,8$ м.

Площа поверхні, що освітлюється, розраховується за формулою, м²:

$$S = A \cdot B, \quad (5.2)$$

де A – довжина приміщення;

B – ширина приміщення.

Розрахуємо площу за формулою (7.2):

$$S = 8 \cdot 5 = 40 \text{ м}^2$$

Для визначення коефіцієнта використання η знаходять індекс i за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.3)$$

де h – розрахункова висота.

Розрахуємо індекс i за формулою (5.3):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 5}{2.8 \cdot (8 + 5)} = 1.1$$

За нормативними документами по будівництву виробничих приміщень приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку рівним $\eta = 64\%$.

Визначимо число світильників необхідних для освітлення цього приміщення:

$$N = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot F \cdot n} = \frac{750 \cdot 1.3 \cdot 40 \cdot 1.1}{0.64 \cdot 4220 \cdot 2} = 7.9 \text{ шт.}$$

Отже, для освітлення приміщення регулювальника апаратури необхідно 8 люмінесцентних ламп.

5.2 Вимоги щодо електробезпеки, обладнання та організації робочого місця

Під час проектування радіосистем, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень для робочих місць необхідно дотримуватись вимог ПВЕ, ПТЕ, ПБЕ, СН 357–77 "Инструкция по проектированию силового осветительного оборудования промышленных предприятий", затверджених Держбудом СРСР, ГОСТ 12.1.006, ГОСТ 12.1.030 "ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление", ГОСТ 12.1.019 "ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты", ГОСТ 12.1.045, ВСН 59–88 Держкомархітектури СРСР "Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования", Правил пожежної безпеки в Україні, а також розділів СНиП, що стосуються штучного освітлення і електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно–технічної і експлуатаційної документації заводу–виробника ЕОМ.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Робочі приміщення за електробезпекою поділяються:

- без підвищеної небезпеки;
- особливо небезпечні (присутність металевих підлог, підвищена вологість);
- з підвищеною небезпекою.

Площа, виділена для одного робочого місця, повинна складати не менше 6 м², а обсяг – не менше 20 м³.

Робочі місця відносно світлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

При розміщенні робочих місць з необхідно дотримуватись таких вимог:

- робочі місця розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями робочих місць має бути не меншою за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного робочого місця та іншого не повинна бути меншою 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

5.3. Розрахунок захисного заземлення робочого місця

Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Воно призначено для усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус. Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку, зумовлених замиканням на корпус. Це досягається зменшенням потенціалу заземленого устаткування, а також вирівнюванням потенціалів за рахунок підймання потенціалу основи, на якій стоїть людина, до потенціалу, близького за значенням до потенціалу заземлюючого устаткування.

Захисне заземлююче обладнання складається з сукупності заземлювача і провідників, що заземлюють. Заземлювач являє собою провідник або сукупність металевих сполучених провідників, які знаходяться в безпосередньому зіткненні з землею. Провідник, який заземлює це металевий провідник, який з'єднує частини електричного устаткування, яке заземлюється, із заземлювачем.

Згідно з вимогами “Правил улаштування електроустановок опір захисного заземлення” в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом.

Розрахуємо контур, який заземлює робоче місце.

У якості заземлювачів приймаються вертикальні заземлювачі із сталевих труб довжиною $l = 1,7$ м, діаметром $D = 40$ мм, розташованих в ряд із відстанню

між трубами у груповому заземленні $d = 3,0$ м. Ширина горизонтальної сполучної сталевий смуги $b = 32$ мм, глибина закладення смуги в ґрунт $t_0 = 0,5$ м. Ґрунт – глина, кліматична зона – четверта. Припустимий опір $R_3 \leq 4$ Ом.

Визначимо опір одиночного вертикального заземлювача R_B , Ом:

$$R_B = 0,366 \cdot \left(\frac{\rho}{l} \right) \cdot \left[\lg \left(\frac{2 \cdot l}{D} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(4S + \frac{l}{4 \cdot S} - l \right) \right], \quad (5.4)$$

де ρ – питомий опір ґрунту за рік, Ом · м;

l – довжина сталевих труб, $l = 1,7$ м;

D – діаметр вертикальних заземлювачів із сталевих труб, $D = 40$ мм;

S – відстань від поверхні ґрунту до кінця занурення смуги в ґрунт, м.

Питомий опір ґрунту за рік ρ , Ом · м,

$$\rho = \rho_{gp} \cdot k_c, \quad (5.5)$$

де ρ_{gp} – питомий опір ґрунту, $\rho_{gp} = 40$ Ом · м;

k_c – коефіцієнт сезону, який враховує сезонне промерзання або висихання, $k_c = 1,2$ м.

$$\rho = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Відстань від поверхні ґрунту до кінця занурення смуги в ґрунт S , м,

$$S = t_0 + 0,5 \cdot l, \quad (5.6)$$

де t_0 – глибина закладення смуги в ґрунт, $t_0 = 0,5$ м;

l – довжина сталевих труб, $l = 1,7$ м.

$$S = 0,5 + 0,5 \cdot 1,7 = 1,35 \text{ м.}$$

Підставивши вихідні дані у формулу (5.4) одержимо

$$R_e = 0,366 \cdot \left(\frac{48}{1,7} \right) \cdot \left[\lg \left(\frac{2 \cdot 1,7}{0,04} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left(4 \cdot 1,35 + \frac{1,7}{4 \cdot 1,35} - 1,7 \right) \right] = 23,01$$

Ом

Кількість вертикальних заземлювачів n_1 визначаємо з виразу:

$$n_1 = \frac{R_B}{R_3 \cdot \eta_B}, \quad (5.7)$$

де R_B – опір одиночного вертикального заземлювача, $R_B = 23,01$ Ом;

R_3 – припустимий опір пристрою, який заземлює, $R_3 = 4$ Ом;

η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, $\eta_B = 1$

$$n_1 = \frac{23,01}{4} \approx 6 \text{ штук.}$$

Для знайденого n_1 за формулою (6.4) визначимо за допомогою таблиці А.3 [12] коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B без урахування впливу горизонтальної сполученої смуги, при $\frac{d}{l} = \frac{3}{1,7} = 1,77$.

$$\eta_B = 0,74.$$

Уточнимо кількість вертикальних заземлювачів n_2 за формулою (6.7),

$$n_2 = \frac{23,01}{4 \cdot 0,74} \approx 8 \text{ штук.}$$

Для знайденого n_2 аналогічно попередньому розрахунку визначимо η_B ,

$$\eta_B = 0,72.$$

Згідно останньому розрахунку η_B знайдемо кількість вертикальних заземлювачів n_3 за формулою (5.7),

$$n_3 = \frac{23,01}{4 \cdot 0,72} \approx 8 \text{ штук.}$$

Так як різниця між останніми числами заземлювачів n_2 і n_3 становить менше одиниці, то останнє значення n приймемо рівним восьми штук, для якого $\eta_B = 0,72$.

Визначимо результуючий опір проектованого захисного пристрою, який заземлює $R_{гр}$, Ом,

$$R_{гр} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B \cdot \eta_{\Gamma} + n \cdot R_{\Gamma} \cdot \eta_B}, \quad (5.8)$$

де R_B – опір одиночного вертикального заземлювача, $R_B = 23,01$ Ом;

R_{Γ} – опір горизонтальної сполученої смуги, Ом;

n – кількість вертикальних заземлювачів, $n = 8$ штук;

η_{Γ} – коефіцієнт використання горизонтальної сполученої смуги групового заземлювача;

η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, $\eta_B = 0,72$.

Опір горизонтальної сполученої смуги R_r , Ом,

$$R_r = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l_r} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot l_r^2}{b \cdot t_0} \right), \quad (5.9)$$

де ρ – питомий опір ґрунту за рік, Ом · м;

l_r – довжина горизонтальної смуги, м;

b – ширина горизонтальної сполучної сталеві смуги, $b = 0,032$ м;

t_0 – глибина закладення сполученої смуги в ґрунт, $t_0 = 0,5$ м.

Питомий опір ґрунту за рік ρ , Ом · м,

$$\rho = \rho_{gp} K_c \quad (5.10)$$

де ρ_{gp} – питомий опір ґрунту, $=40$ Ом · м;

K_c – коефіцієнт сезону для горизонтальних заземлювачів, який враховує сезонне промерзання або висихання, $K_c = 2,0$ м.

$$\rho = 40 \cdot 2,0 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Довжина горизонтальної смуги l_r , м,

$$l_r = 1,05 \cdot d \cdot n, \quad (5.11)$$

де d – відстань між трубами у груповому заземленні, $d = 3,0$ м;

n – кількість вертикальних заземлювачів, $n = 8$ штук.

$$l_r = 1,05 \cdot 3,0 \cdot 8 = 25,2 \text{ м}.$$

Коефіцієнт використання горизонтальної сполученої смуги групового заземлювача η_r визначимо за таблицею А.4 [12],

$$\eta_r = 0,78.$$

$$R_{гр} = \frac{23,01 \cdot 5,7}{23,01 \cdot 0,8 + 8 \cdot 5,7 \cdot 0,72} = 2,56 \text{ Ом.}$$

У зв'язку з тим, що $R_{гр} < R_3$ ($2,56 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$) приймаємо кількість вертикальних заземлювачів, яку отримали в результаті розрахунку, восьми штук, а довжину горизонтальної смуги $l_r = 25,2 \text{ м}$.

Таким чином, за допомогою попереднього розрахунку захисного заземлення робочого місця, а також дотримання всіх необхідних норм щодо вентиляції, освітлення та електробезпеки при виконанні робіт по проектуванню, висотоміра малих висот безпілотного літального апарата створені сприятливі і безпечні умови праці обслуговуючого персоналу.

5.4. 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 – $2,5 \text{ мкВт/см}^2$. 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.

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'ї 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 (ІІЕР) 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 прогалин 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.

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.

ВИСНОВКИ

В цій дипломній роботі розглянуто способи використання безпілотників у сільському господарстві. Типи БПЛА, що використовуються фермерами та спектр задач, що можуть вирішуватися безпілотниками. Тут я виклав особливості використання БПЛА з точки зору нормативно-правової бази, розглянув переваги та недоліки основних методів використання БПЛА у сільському господарстві. Визначив які параметри роботи БПЛА значно впливають на ефективність проведення робіт з захисту рослин, та яких заходів варто вжити щоб підвищити ефективність технології. Виконав автоматизовану обробку аеронавігаційних даних великої розмірності. А також розкрив питання охорони праці на робочому місці авіаційних фахівців.

У фактичній конструкції БПЛА та систем розпилення для зменшення відходів пестицидів може знадобитися налаштувати різні параметри та поєднати декілька методів. Крім того, через різні еталони, що використовують різні БПЛА та системи розпилення, ці еталони можуть стати незастосовними, особливо при впровадженні нових методів. Використання існуючої системи БПЛА, під час встановлення параметрів польоту, швидкості 1,5–3 м/с та висоти 2–3,5 м на основі різних культур, можна досягти відносно хорошої рівномірності розпилення. Для подальшого підвищення коефіцієнта використання та ефекту розпилення пестицидів необхідно вдосконалити систему БПЛА або запропонувати новий алгоритм керування. Порівняно з удосконаленням обладнання БПЛА, дуже економічно вигідно пропонувати нові алгоритми для кращого керування розпиленням БПЛА. Виявлено два можливі напрямки, які не були вивчені. Коли БПЛА прискорюється, він неминуче матиме кут нахилу вперед. Це явище є принципом БПЛА, що летить вперед, і призведе до того, що система розпилення матиме кут нахилу до землі. Більший кут нахилу призводив до більш несприятливого осадження крапель. Незважаючи на дослідження щодо стабілізації положення БПЛА в польоті, кут

нахилу системи розпилення до землі все ще існує. Якщо налаштувати механізм для зміни кута нахилу системи розпилення таким чином, щоб вона завжди була перпендикулярна до землі, ефект осадження крапель буде додатково покращений. Крім того, деякі фактори, які впливають на осадження крапель, деякі не були вивчені, тому неможливо внести відповідні корективи для зменшення відходів пестицидів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воробьева А.А. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ [Электронный ресурс]. - СПб УИТМО. 2012 - 168 с. - Режим доступа <https://staff.tiame.uz/storage/users/153/books/HZCp5NlcFRJJcCnPYyd0yjrg3LdkztNVggrvFHJt.pdf>
2. Ambrosia, V.G.; Wegener, S.; Zajkowski, and others. The Ikhana unmanned airborne system (UAS) western states fire imaging missions: From concept to reality (2006–2010) / *Geocarto Int.*- 26. - 2011. - pp. 85-101.
3. Hinkley, E.A.; Zajkowski, T. USDA Forest Service-NASA: Unmanned aerial systems demonstrations—pushing the leading edge in fire mapping / *Geocarto Int.* - 26. - 2011. - pp.103-111.
4. Fladeland, M., Sumich, M., Lobitz, B. and others. The NASA SIERRA science demonstration programme and the role of small-medium unmanned aircraft for earth science investigations. / *Geocarto Int.* - 26. - 2011. - pp.157-163.
5. Breckenridge, R.P.; Dakins, M.E. Evaluation of bare ground on rangelands using unmanned aerial vehicles./ *GISci. Remote Sens.* - 2011.- 48.- pp.74-85.
6. Laliberte, A.S.; Winters, C.; Rango, A. UAS remote sensing missions for rangeland applications. / *Geocarto Int.* - 26. - 2011. - pp.141-156.
7. Laliberte, A.S.; Rango, A. Image processing and classification procedures for analysis of sub-decimeter imagery acquired with an unmanned aircraft over arid rangelands./ *GISci. Remote Sens.* - 48.- 2011. - pp.4-23.
8. Lejot, J., Delacourt, C., Piégay, H. and others. Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform./ *Earth Surf. Proc. Land.* - 32. - 2007.- pp. 1705-1725.
9. Dunford, R., Michel, K., Gagnage, M. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest./ *Int. J. Remote Sens.* - 30. - 2009. - pp. 4915-4935.

10. Hervouet, A., Dunford, R., Piegay, H. and others. Analysis of post-flood recruitment patterns in braided channel rivers at multiple scales based on an image series collected by unmanned aerial vehicles, Ultralight aerial vehicles, and satellites/ GISci. Remote Sens. - 48.- 2011- pp. 50-73.
11. International Civil Aviation Organization. Doc.10019, Manual on Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). - 2015.
12. Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer [Електронний ресурс] / Jet Propulsion Laboratory, 2021. Режим доступу: <https://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.overview.html> (доступ - 16 листопада, 2021)
13. AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) [Електронний ресурс] / EASA Earth on-line, 2021. Режим доступу: <https://earth.esa.int/web/eoportal/airborne-sensors/content/-/article/aviris> (доступ - 17 листопада, 2021)
14. Kruse, J. W., Boardman, A. B., Lefkoff A. B. and others. HYMAP : AN AUSTRALIAN HYPERSPETRAL SENSOR SOLVING GLOBAL PROBLEMS – RESULTS FROM USA HYMAP DATA ACQUISITIONS / Proceeding of the 10th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Adelaide, Australia, 21-25 August. - 2000 — Causal Productions. - pp. 1-17.
15. Cocks T., Jenssen R., Stewart A., Wilson I. and Shields T. THE HYMAP AIRBORNE HYPERSPETRAL SENSOR: THE SYSTEM, CALIBRATION AND PERFORMANCE / Proceeding of the 1 st EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy, Zurich, October 1998. - Paris: European Association of Remote Sensing Laboratories.
16. Ларін В. Ю., Додатчук І.Л. Дистанційне зондування покладів корисних копалин за допомогою безпілотного авіаційного комплексу / СТАЛИЙ РОЗВИТОК ГЛОБАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, НАВІГАЦІЇ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ CNS/ATM:

тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції, 22-25 листоп. – К. : НАУ, 2021. – С.31-33.

17. Riley, D., Cudahy, T., Hewson, R., Jansing, D., Hackwell, J. SEBASS imaging for Copper Porphyry and Skarn Deposits, Yerington, NV / Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration" edited by B. Milkereit. - 2007. - p. 1151-1157.
18. Hackwell J.A., Warren D.W., Bongiovi R.P., and other. LWIRIMWIR Imaging Hyperspectral Sensor for Airborne and Ground-Based Remote Sensing / Proc. SPIE, Imaging Spectrometry II. - vol. 2819. - 1996 - pp.102-117
19. R. Greg Vaughan, Wendy M. Calvin, James V. Taranik SEBASS hyperspectral thermal infrared data: surface emissivity measurement and mineral mapping / Remote Sensing of Environment — 85 - 2003- pp.48–63.
20. Никитский В.Е., Глебовский Ю.С. (ред.) Магниторазведка: Справочник геофизика - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1990. - 470 с.
21. М.И. Эпов, И.Н. Злыгостев. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке [Электронный ресурс] / Интерэкспо ГеоСибирь- №3. - 2012. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyhletatelnyh-apparatov-v-aerogeofizicheskoy-razvedke> (Доступ 03.12.2021)
22. Christensen, P. R., M. D., Piatek, J. L., Ruff, S. W., & Stefanov, W. L. A thermal emission spectral library of rock-forming minerals. / Journal of Geophysical Research. -2000. — 105(E4). - pp. 9735 – 9739.
23. Johnson, B. R. In scene atmospheric compensation: Application to SEBASS data collected at the ARM site. Part I./ Aerospace Corporation technical report. - 1998- ATR-99 (8407).
24. Infrared camera optris PI 400i / PI 450i [Электронный ресурс] / OPTRIS Infrared Measurements. - 2021 — Режим доступа: <https://www.optris.global/thermal-imager-optris-pi-400i-pi-450i> — (доступ 03.12.2021).

25. Великанов Д.А. Высокочувствительные методы исследования магнитных свойств кристаллических и плёночных магнитных систем / Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. - Красноярск. - 2017. - 436с.
26. GEM GSM-19 Cost Effective and High Precision Overhauser Magnetometer [Электронный ресурс] / GEM Systems - Режим доступа: <https://www.gemsys.ca/rugged-overhauser-magnetometer/> - (доступ 09.12.2021).
27. Samson, C., Straznicky, P., Laliberte, J., and others. Designing and building an unmanned aircraft system for aeromagnetic surveying / 80th Annual meeting of the Society of Exploration Geophysicists. - 29. — Denver, USA. - 2010. - pp. 1167-1171.
28. Samson, C., Cunningham, M., Wood, A. and others. Magnetic surveying using an unmanned system for geological mapping / Unmanned Systems Canada Conference. Montreal: 4-6 November. - 2014.
29. FGM3D [Электронный ресурс] /SENSYS : Magnetometers& Survey solutions . - Режим доступа: <https://sensysmagnetometer.com/products/fgm3d/> - (доступ -10.12.2021).
30. Tezkan B., Stoll J.B., Bergers R., Großbach H. Unmanned aircraft system proves itself as a geophysical measuring platform for aeromagnetic surveys / First Break. - Vol 29. - No 4. -2011. - pp.103 – 105.
31. Cunningham M. Aeromagnetic surveying with unmanned aircraft systems // A thesis of Master of Science Diss. - Carleton University, Canada, Ontario. - 2016. -144 p.
32. Maley J.A. An investigation into low-cost manufacturing of carbon epoxy composites and a novel “mouldless” technique using the Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM) method / M.A.Sc. Thesis. - Carleton University. - 2008.- 126p.
33. Samson C., Straznicky P., Laliberte J. and others. Designing and building an unmanned aircraftsystem for aeromagnetic surveying / Proceedings of the SEG

- 80th Annual International Meeting Denver, Colorado. - SEG Expanded Abstracts, USA. - 2010. - pp. 1167–1171.
34. Sterligov B, Cherkasov S. Reducing Magnetic Noise of an Unmanned Aerial Vehicle for High-Quality Magnetic Surveys / International Journal of Geophysics Volume. - Hindawi Publishing Corporation. - 2016. - 7p. - dx.doi.org/10.1155/2016/4098275.
35. Злыгостев И.Н., Савлук А.В. Аерогеофизический комплекс для измерения вектора магнитного поля земли с высокой пространственной плотностью: тенденция развития, результаты разработок / Сборник научно-технической конференции “Научное приборостроение: современное состояние и перспективы развития”, Москва, 15-16 ноября. - 2016. - с.71-74
36. Laliberte A.S., Goforth M.A, Steele C.M., Rango A. Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments / Remote Sensing - 2011 — 3(11)- pp.2529-2551. <https://doi.org/10.3390/rs3112529>
37. Parshin A. V., Morozov V. A., Blinov A. V., and others. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multicopter UAV as a promising replacement for traditional ground survey / Geo-spatial Information Science. - Wuhan University: Taylor & Francis Group. - 2018. - DOI: 10.1080/10095020.2017.1420508
- 38.1. Опис модему на сайті-виробника Microhard URL: <https://www.microhardcorp.com/P400.php>
- 39.2. HEX Herelink опис системи зв'язку від виробника URL: <https://docs.cubepilot.org/user-guides/herelink/herelink-overview>
- 40.3. Опис модему зв'язку Silvus URL: <https://silvustechnologies.com/products/streamcaster-radios/>
- 41.4. Опис модему зв'язку Taisync Viulinx URL: <https://taisync.com/modules/>
42. <https://doc.makeflyeasy.com/> <https://ardupilot.org/plane/index.html>
43. <https://docs.px4.io/master/en/concept/architecture.html>
44. Блажей Б.В., Національний авіаційний університет, м. Київ,

45. Актуальні та перспективні системи зв'язку БПЛА з НСК 2021_Збірник тез CNS-ATM_2021_електронний
46. *Louis C. Westphal*. Handbook of Control Systems Engineering. — 2nd edition;
47. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. — Springer, 2001. — Т. 635. — 1063 с. — ISBN 978-0792374947.
48. Consideration about UAV command and control. Ground Control Station URL:
49. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1297/1/012007>
50. Prisacariu Vasile¹, Cătălin Cioacă¹, Doru Luculescu¹, Andrei Luchian² and Sebastian Pop² Published under licence by IOP Publishing Ltd
51. https://www.researchgate.net/publication/329422590_Unmanned_Aerial_Vehicle_Classification_Applications_and_Challenges_A_Review
52. M. Boon, A. P. Drijfhout, and S. Tesfamichael, "Comparison of a fixedwing and multi-rotor uav for environmental mapping applications: A case study," ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLII-2/W6 08 2017.
53. G. Ellis, "Chapter 13 - model development and verification," in Control System Design Guide (Fourth Edition) (G. Ellis, ed.)
54. Boston: Butterworth-Heinemann, fourth edition ed., 2012.
55. PX4 Dev Team, "Controller diagrams."
56. N. Kuyvenhoven. PID Tuning Methods: An Automatic PID Tuning with MathCad. Calvin College, 2002.
57. L. Kunqin Y. Shengyi and S. Jiao. "Design and Simulation of the Longitudinal Autopilot of UAV Based on Self-Adaptive Fuzzy PID Control." In: International Conference on Computational Intelligence and Security (2009)
58. Stevens, B. L., Lewis, F. L., and Johnson, E. N. *Aircraft Control and Simulation*, 3rd ed., John Wiley, 2016. 53, 94
59. Dorf, R. C., Bishop R. H., *Modern Control Systems*, 13th ed., Pearson, 2017. 64, 65, 73
60. Ogata, K., *Modern Control Engineering*, 5th edition, Prentice Hall, 2010. 64, 65, 73

62. Megson, T., *Aircraft Structures for Engineering Students*, 5th ed., 2012. 32, 182
63. Berger, A. S., *Embedded Systems Design*, CMP Books, 2002. 125
64. Cady, F. M., *Microcontrollers and Microcomputers*, Oxford University Press, 1997. 124, 125
65. Autopilot Design of Unmanned Aerial Vehicle Ahmed Hassan Ahmed*, Bahaaeldin Gamal, Ahmed Nasr Ouda, Ahmed Mohsen Kamel and Yehia Zakaria El-Halwagy *Military Technical Research Center, Cairo, Egypt*
https://www.researchgate.net/publication/224057242_A_HardwareSoftware_Architecture_for_UAV_Payload_and_Mission_Control
<http://www.viewprotech.com/index.php.ac=article&at=read&did=279>
66. Азаров І., Сидоренко В., Серета Ю. Використання безпілотного літального апарата як засобу дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій // *Безпека життєдіяльності*. – 2015. – № 2. – С. 30.
67. Безпілотні системи офіційний сайт фірми VAT ZALA AERO GROUP [Електронний ресурс]. URL: <http://zala.aero>
68. Беляєв Б. І., *Оптичне Дистанційне зондування* / Беляєв Б. І., Катковский Л. В. Мінськ. 2006. 455 с.
69. Бондар О.І. Моніторинг навколишнього середовища / [О. І. Бондар, І. В. Корінько, В. М. Ткач, О. І. Федоренко]; під ред. О. І. Федоренко. – К.-Х.: ДІІ-ГТІ, 2005. – 126 с.
70. Гребеніков А. Г., Мясниця А. К., Парфенюк В. В. *Загальні види і характеристики безпілотних літальних апаратів: справ, посібник*. Харків. 2008. 377 с.
71. Зосимович М. А. *Безпілотники для екологічного моніторингу*. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 484 с.
72. Інформація про стан навколишнього природного середовища // *Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб.* / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапшина. — Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. — С. 104.

73. Катковский Л. Б. Багатоспектральне Дистанційне зондування. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 396 с.
74. Козодеров В. В., Дмитрієв Є. В., Каменцев В. П. Когнітивні технології дистанційного зондування в природокористуванні. М.: МДУ ім. М. В. Ломоносова, Тверський державний ун-т. 2016. С. 279.
75. Комягін С. І. Електромагнітна стійкість безпілотних літальних апаратів. М.: Красанд. 2015. 432 с.
76. Коротких А. М. Використання даних дистанційного зондування. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 88 с.
77. Кошкін А. А. Безпілотні авіаційні системи. М.: Стратегічні пріоритети. 2016. С. 676.
78. Моніторинг використання та екологічного стану земель за допомогою безпілотних літальних апаратів / Триснюк В. М. [та ін.] / Сучасні інформаційні системи Advanced Information Systems. 2018. Т. 2, № 4. С. 124-127
79. Погорєлов В. І. Безпілотні літальні апарати. Навантаження і нагрів / Навчальний посібник для СПО. М.: Юрайт. 2018. 230 С.
80. Растопчин В. В. Безпілотні авіаційні системи / Растопчин В. В., Румянцев С. С. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.avia.ru>
81. Рендал У. Біард, Тімоті У. Маклейн. Малі безпілотні літальні апарати. Теорія і практика. М.: Техносфера. 2015. 312 с.