

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Радіоакустична станція виявлення БПЛА
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи МІМ-22-1
Буханов І. В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Медіаінженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. КАРТАШОВ В.М.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Володимир КАРТАШОВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Медіаінженерія

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Буханову Ігору Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Радіакустична станція виявлення БПЛА

затверджена наказом по університету від " 20 " 10 " 2023 р. № 1224 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Обґрунтувати фізичні та технічні основи побудови і функціонування радіоакустичних станцій, що використовують для виявлення БПЛА розсіювання зондуємого радіосигналу на акустичних збуреннях середовища. Розробити структурну схему системи і основні її технічні характеристики.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

ВСТУП

1 Аналітичний огляд існуючих БПЛА і методів їх виявлення

2 Фізичні та технічні основи радіоакустичного методу виявлення БПЛА

3 Структурна схема радіоакустичної станції та її основні параметри

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Системи виявлення дронів і протидронні системи; Спектрограма акустичного сигналу квадрокоптера; Структурна схема раіоакустичної станції виявлення БПЛА; Вибір частоти зондуємого сигналу; Огляд простору і фазове керування діаграмою спрямованості

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд типів БПЛА і методів їх виявлення	20.10.23–10.11.23	
2.	Обґрунтуванні фізичних основ РАС	11.1.23–20.11.23	
3.	Обґрунтуванні технічних основ РАС	21.11.23–30.11.23	
4.	Опис і аналіз результатів структурної схеми РАС	01.12.23–15.12.23	
5.	Графічна частина роботи	16.12.23–01.11.23	
6.	Перевірка керівником	02.12.23–04.01.23	
7.	Перевірка на академічний плагіат	05.01.23–05.03.23	
8.	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	06.01.23–07.01.23	

Дата видачі завдання _____ 20.10.2023 р. _____

Студент _____  _____ *Ігор БУХАНОВ* _____

(підпис)

Керівник роботи _____ *проф. Володимир КАРТАШОВ* _____
 (підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до атестаційної роботи: 84 сторінки, 34 рисунків, 26 джерел.

БПЛА, GPS, БСЩД, НСОД, AI, ГІС, АПІ, ДРОН, РЛС, РАС, РАДАР, КВАДРОКОПТЕР, АНТЕНА, ІНДИКАТОР РЛС

Об'єкт дослідження - радіоакустичні станції виявлення БПЛА.

Мета дослідження - аналіз, вивчення та оцінка можливостей та обмежень радіоакустичних станцій виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з метою з'ясування їхнього потенціалу в різних галузях та обґрунтування практичного застосування.

Методи дослідження - синтез, аналіз, порівняння характеристик та результатів роботи радіоакустичних станцій з іншими методами виявлення, такими як радари чи оптичне спостереження.

В кваліфікаційній роботі приведено аналітичний огляд методів і систем виявлення БПЛА. Обґрунтовані фізичні і технічні основи функціонування радіоакустичної станції виявлення БПЛА з використанням розсіювання зондуючого радіосигнала на акустичних збуреннях середовища, створених шумами літального апарата.

ABSTRACT

Explanatory note to the certification work: 24 pages, 36 figures, 21 sources.

BPL, GPS, BSFD, NSOD, AI, GIS, API, DRONE, RADAR, RAS, RADAR, QUADCOPTER, ANTENNA, RADAR INDICATOR

The object of research is radio-acoustic UAV detection stations.

Purpose of the study - to analyze, study and evaluate the capabilities and limitations of radio-acoustic stations for detecting unmanned aerial vehicles (UAVs) in order to determine their potential in various fields and justify their practical application.

The research methods include synthesis, analysis, comparison of characteristics and performance of radio-acoustic stations with other detection methods, such as radar or optical surveillance.

The qualification work provides an analytical review of UAV detection methods and systems. The physical and technical foundations of the functioning of a radio-acoustic UAV detection station using the scattering of the probing radio signal on acoustic disturbances of the environment created by aircraft noise are substantiated.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	4
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РАДІОАКУСТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ВИЯВЛЕННЯ БПЛА.....	10
1.1 Історія виникнення БПЛА.....	12
1.2 Технічні характеристики БПЛА.....	20
1.2.1 Системи обробки даних.....	21
1.2.2 Інтеграція з іншими системами.....	25
1.2.3 Витрати та ефективність використання БПЛА.....	28
1.3 Методи і системи виявлення БПЛА.....	36
1.4 Радіолокаційні системи виявлення БПЛА.....	41
РОЗДІЛ 2. ФІЗИЧНІ І ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РАДІОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ БПЛА.....	54
2.1 Акустичне випромінювання БПЛА.....	54
2.2. Теоретичні та експериментальні результати розсіювання радіохвиль на звукових хвилях.....	57
2.3 Радіоакустичний метод виявлення БПЛА.....	56
РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРНА СХЕМА І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ РАС.....	64
3.1 Розробка структурної схеми РАС виявлення БПЛА.....	66
3.2 Вибір частоти зондуючого радіосигналу.....	68
3.3 Способи огляду простору.....	70
3.4 Вибір поляризації радіосигналу під час проектування РЛС.....	73
3.5 Обґрунтування використання імпульсного методу радіолокації на	75

станції.....	
ВИСНОВКИ.....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82
Додаток А.....	80
Додаток Б.....	91

ВСТУП

У сучасних умовах використання БПЛА і робототехніки стало звичайною нормою. З їх допомогою вирішуються завдання забезпечення військової безпеки, а також питання в дослідницькій, охоронній та інших областях. У боротьбі з тероризмом безпілотники та інші види робототехніки стають все більш ефективним і регулярно застосовуваним засобом. У той же час терористичні організації намагаються йти в ногу з прогресом і активніше задіють безпілотні апарати в своїй деструктивній діяльності. Саме тому розгляд питань про застосування БПЛА та протидію їм необхідно вести паралельно.

Поява великої кількості розробників і виробників БПЛА має ряд причин. Зазначені конструкції, як правило, набагато дешевше пілотованих літаків і вертольотів. Підготовка оператора безпілотної системи обходиться менш затратно, ніж льотчика. Крім того, відсутність пілота дозволяє зменшити масу і габарити БПЛА, збільшити діапазон допустимих перевантажень і інших факторів, що впливають.

Велике значення має і фактор безпеки: втрата безпілотних апаратів не веде до загибелі пілотів. Радіоакустичні станції виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) представляють собою важливий клас систем, які відіграють критичну роль у забезпеченні безпеки та контролю в сучасному світі. Завдяки швидкому розвитку технологій БПЛА і їх широкому використанню у різних галузях, включаючи військову справу, комерцію та дрон-технології, виникла необхідність у вдосконалених системах виявлення та слідкування за цими апаратами.

Радіоакустичні станції виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стали однією з актуальних і важливих тем в галузі безпеки та оборони в сучасному світі. З бурхливим розвитком технологій, БПЛА стали невід'ємною частиною військових операцій, комерційних діяльностей та

різних індустрій, що вимагає удосконалених методів виявлення, слідування та контролю.

Саме в цьому контексті радіоакустичні станції виявлення БПЛА виходять на перший план. Вони використовують акустичні сигнали, що випромінюються БПЛА під час їхнього руху, для точного визначення їхнього місця розташування та інших параметрів. Ця технологія відкриває нові можливості для ефективного виявлення та контролю навколишнього повітряного простору, а також для забезпечення безпеки і захисту в різних сферах життя.

БПЛА представляють собою інноваційний підхід до цієї проблеми, використовуючи акустичні сигнали для виявлення, визначення параметрів і локалізації БПЛА. Вони відкривають нові можливості для виявлення та контролю навколишнього повітряного простору та можуть допомогти вирішувати проблеми безпеки та захисту в новому світі.

В данній роботі досліджено технічні параметри радіоакустичних станцій, включаючи дальність виявлення, точність локалізації, чутливість та інші характеристики.

Об'єкт дослідження - технічні характеристики радіоакустичних станцій

Мета дослідження - аналіз, вивчення та оцінка можливостей та обмежень радіоакустичних станцій виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з метою з'ясування їхнього потенціалу в різних галузях та обґрунтування практичного застосування.

Методи дослідження - порівняння характеристик та результатів роботи радіоакустичних станцій з іншими методами виявлення, такими як радары чи оптичне спостереження.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ І СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ БПЛА

1.1 Історія виникнення БПЛА

Історія безпілотних літальних апаратів (БПЛА) сягає корінням у 19 століття. У 1849 році австрійська армія використала повітряні кулі, оснащені бомбами, для нападу на Венецію, яка перебувала під контролем Італійського королівства. Хоча ці атаки були невдалими, вони продемонстрували потенціал безпілотних літальних апаратів для військових цілей.



Рисунок. 1.1 - Перший бойовий дрон: бомбардування Венеції у 1849 році

У 20 столітті БПЛА почали використовуватися в основному для розвідки та цілевказування. У Першій світовій війні британські та німецькі війська використовували безпілотні літаки-розвідники для спостереження за лінією фронту. У Другій світовій війні БПЛА використовувалися для розвідки, цілевказування та доставки бомб.

Після Другої світової війни БПЛА продовжували розвиватися. У 1950-

х роках США розробили безпілотний літак-розвідник RQ-1A Sentinel, який використовувався в Корейській війні. У 1960-х роках США розробили безпілотний літак-бомбардувальник RQ-2A Firebee, який використовувався у В'єтнамській війні.

У 1980-х роках БПЛА стали більш автономними та здатними до виконання складніших завдань. У 1982 році Ізраїль використав безпілотний літак-розвідник Scout для виявлення та знищення сирійських ракетних установок під час Ліванської війни.

У 1990-х роках БПЛА стали більш поширеними та використовувалися в кількох конфліктах, включаючи Першу та Другу війни в Перській затоці. У 1995 році США використали безпілотні літаки-розвідники для спостереження за боснійськими сербами під час Боснійської війни.

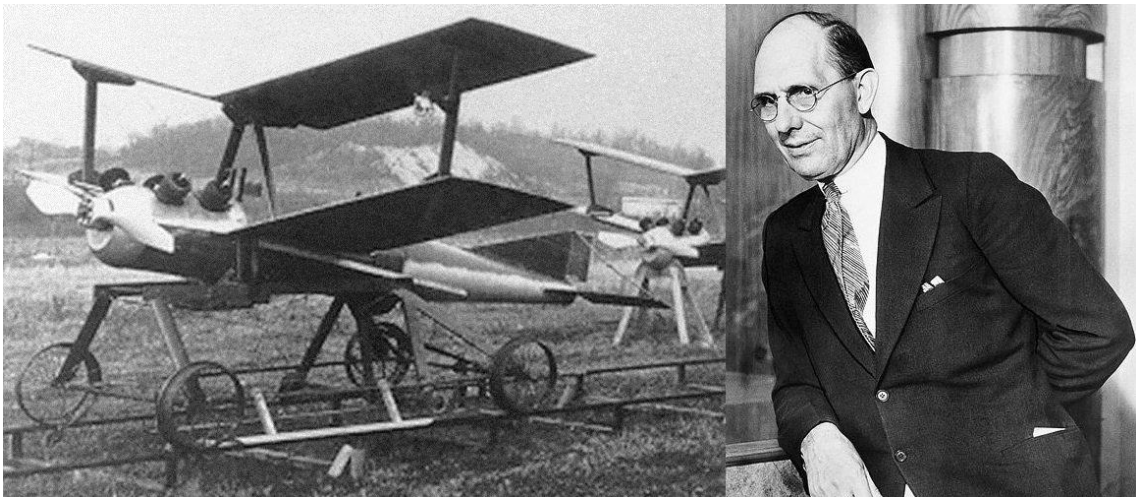


Рисунок 1.2 - Американець Чарльз Кеттерінг створює «літаючу вибухівку»

Незважаючи на вдалі досліди, другим бойовим радіокерованим безпілотником стало не судно, а військовий літак. Американець Чарльз Кеттерінг створює «літаючу бомбу».

За задумом винахідника літак, начинений вибухівкою, керувався не пілотом, а годинниковим механізмом. У запрограмований момент він скидав крила і каменем падав на голову ворога.

Ідея знайшла підтримку в уряді США. Проект отримав фінансування, але кілька невдалих «бомбардувань» призвели до того, що виробництво «дронобомби» було припинено ще до початку Першої світової війни.

Відомий фізик, інженер та винахідник Нікола Тесла в 1898 році на озері в Медісон-сквер гардені (Нью-Йорк, США) демонструє перший човен на радіокеруванні.



Рисунок.1.3 - Перший човен на радіо керуванні. Нікола Тесла

У 21 столітті БПЛА стали ще більш важливими військовими інструментами. У 2001 році США використали безпілотні літаки-камікадзе Predator для нападу на табори Аль-Каїди в Афганістані. У 2003 році США використали безпілотні літаки-розвідники для спостереження за іракською армією під час війни в Іраку.

Сьогодні БПЛА використовуються в багатьох військових конфліктах по всьому світу. Вони стали важливим інструментом для розвідки,

цілевказування, бомбардування та інших завдань.

БПЛА мають ряд переваг перед пілотованими літаками. Вони дешевші в експлуатації, оскільки не потребують екіпажу. Вони також менш схильні до ураження, оскільки не мають пілота на борту. Крім того, БПЛА можуть виконувати завдання в небезпечних умовах, які були б занадто ризикованими для пілотованих літаків.

Однак БПЛА також мають ряд недоліків. Вони можуть бути менш точними, ніж пілотовані літаки. Вони також можуть бути використані для цілей, які суперечать міжнародному праву, наприклад, для вбивств без суду.

Незважаючи на недоліки, БПЛА, ймовірно, залишатимуться важливим елементом військових сил у майбутньому. Вони є ефективним та економічно ефективним способом виконання різноманітних завдань.

1.2 Технічні характеристики БПЛА. Огляд існуючих моделей БПЛА.

У процесі виконання польоту, як правило, керування БПЛА здійснюється автоматично за допомогою бортового комплексу навігації та керування, до складу якого входять:

1. Приймач супутникової навігації, що забезпечує прийом навігаційної інформації від систем ГЛОНАСС і GPS;
2. Система інерційних датчиків, що забезпечує визначення орієнтації і параметрів руху БПЛА в повітряному просторі;
3. Система повітряних сигналів, яка забезпечує вимірювання висоти і повітряної швидкості;
4. Різні види антен, призначені для виконання завдань.

Бортова система навігації і керування забезпечує:

1. Політ за заданим маршрутом (завдання маршруту виробляється із зазначенням координат і висоти поворотних пунктів маршруту);
2. Зміну маршрутного завдання або повернення в точку старту по команді з наземного пункту керування;
3. Обліт зазначеної точки;
4. Стабілізацію кутів орієнтації БПЛА;
5. підтримку заданих висот і швидкості польоту (шляхової або повітряної);
6. Збір і передачу телеметричної інформації та параметрів польоту і роботу цільового обладнання;
7. Програмне керування пристроями цільового обладнання.

Бортова система зв'язку:

1. Функціонує в дозволеному діапазоні радіочастот;
2. Забезпечує передачу даних з борту на землю та із землі на борт.

Дані, що передаються з борту на землю:

1. Параметри телеметрії;
2. Потоківі відео та фотозображення.

Дані, що передаються на борт, містять:

1. Команди керування БПЛА;
2. Команди керування цільовою апаратурою.

Серед існуючих БПЛА такими, що є найбільш розвиненими і відповідають сформульованим вимогам, можна вважати безпілотні авіаційні комплекси «ГрАНТ» та «Альбатрос», БПЛА Pointer а також Raven БПЛА ГрАНТ - це український безпілотний літальний апарат, розроблений ДП "Антонов". Він призначений для виконання завдань розвідки та спостереження.

Основні технічні характеристики БПЛА ГрАНТ:

Злітна маса: 120 кг

Максимальна швидкість: 160 км/год

Радіус дії: 70 км

Максимальна висота польоту: 3000 м

Тривалість польоту: 3 год

1. БПЛА ГрАНТ оснащений цифровою системою управління, яка дозволяє йому виконувати складні маневри. Він також оснащений оптико-електронною станцією спостереження, яка дозволяє йому отримувати високоякісні зображення та відео.

Може використовуватися для виконання таких завдань:

- Розвідка та спостереження
- Целевказування
- Оцінка наслідків ударів
- Місцезнаходження постраждалих
- Додаткові технічні характеристики БПЛА ГрАНТ:
 - Розміри: довжина - 3,2 м, розмах крил - 3,2 м
 - Форма: планер звичайної схеми з високо розташованим крилом, Т-подібним хвостовим оперенням і переднім розташуванням силової установки з тянущим повітряним винтом
 - Матеріали виготовлення: композитні матеріали
 - Виробник: ДП "Антонов"



Рисунок. 1.4- Загальний вигляд БПЛА ГрАНТ

Комплекс призначено у першу чергу для застосування в цивільній сфері. Областями використання даного комплексу є спостереження трубопроводів, ліній електропередач, авіалісохорона та ін., де необхідне спостереження за місцевістю та об'єктами на ній з повітря, з високоточним визначенням координат об'єктів. БПЛА ГранТ був прийнятий на озброєння Збройних Сил України у 2007 році. Він активно використовується в бойових діях на сході України.

2. БПЛА Альбатрос - це український безпілотний літальний апарат, розроблений компанією "Аеророзвідка". Він призначений для виконання завдань розвідки та спостереження.

До складу бортового обладнання БПЛА входять:

- система супутникової навігації на базі GPS-35;
- тепловізійна система «Вихрь» або дві телекамери (курсова, нерухома і керована обзорна);
- апаратура керування БПЛА;
- телепередавач;
- мікропроцесорна система керування

Таблиця 1. Основні технічні характеристики БПЛА Альбатрос

Характеристики	Альбатрос М1	Альбатрос М5
Злітна маса	5 кг	15 кг
Максимальна швидкість	120 км/год	150 км/год
Радіус дії	100 км	50 км
Максимальна висота польоту	10 000 м	5 000 м
Тривалість польоту	1,5 год	4,5 год

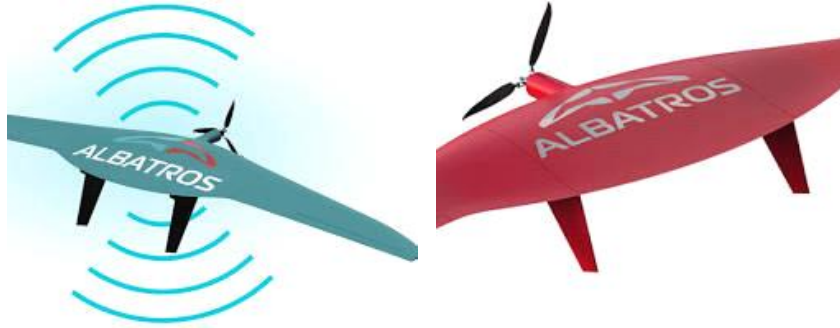


Рисунок 1.5- Загальний вигляд "Альбатрос"

БПЛА Альбатрос оснащений цифровою системою управління, яка дозволяє йому виконувати складні маневри. Він також оснащений оптико-електронною станцією спостереження, яка дозволяє йому отримувати високоякісні зображення та відео.

Альбатрос може використовуватися для виконання таких завдань:

- розвідка та спостереження;
- цілювказування;
- оцінка наслідків ударів;
- місцезнаходження постраждалих.

Використовується в Збройних Силах України, а також в інших країнах світу.

3. БПЛА Pointer - це український безпілотний літальний апарат, розроблений компанією "Аеророзвідка". Він призначений для виконання завдань розвідки та спостереження.



Рисунок 1.6- Загальний вигляд БПЛА Pointer

Основні технічні характеристики БПЛА Pointer:

- 1) Злітна маса: 20 кг
- 2) Максимальна швидкість: 180 км/год
- 3) Радіус дії: 150 км
- 4) Максимальна висота польоту: 3000 м
- 5) Тривалість польоту: 5 год

Перший БПЛА з електричним двигуном Pointer був створений американською фірмою AeroVironment Inc у 1986 р. у складі безпілотного авіаційного комплексу FQM-151A. Pointer призначений для телевізійного або інфрачервоного спостереження місцевості та цілей на ній у реальному масштабі часу. Цей БПЛА (на ті часи) відрізнявся малою масою (4,12 кг), а також силовою установкою, заснованою на електродвигуні Astro 15. Розмах крил 2,48 м, радіус дії 5 км, крейсерська швидкість 73 км/год. Pointer володіє можливістю автоматичного польоту з передачею на наземний модуль керування телевізійного (інфрачервоного) зображення. Запуск здійснюється з руки, а посадка на фюзеляж. БПЛА Pointer оснащений цифровою системою управління, яка дозволяє йому виконувати складні маневри. Він також оснащений оптико-електронною станцією спостереження, яка дозволяє йому

отримувати високоякісні зображення та відео.

БПЛА Pointer є одним з найсучасніших українських безпілотних літальних апаратів. Він має широкий спектр застосування і може використовуватися для виконання різних завдань.

4. БПЛА Raven.

RQ-11B Raven («Ворон») — розвідувальний БПЛА швидкого розгортання призначений для ведення розвідки на малих висотах вдень та вночі.



Рисунок 1.7 - Загальний вигляд БПЛА Raven

Розробник: AeroVironment Inc. (Monrovia, California, United States) Замінив у виробництві попередню модифікацію БПЛА RQ-11A Raven A (перший політ - 2001 рік). Raven B був переможцем програми SUAV Сухопутних військ США (US Army) в 2005 році, прийнятий на озброєння в 2006 році, також прийнятий на озброєння морської піхоти США (US Marines) і ВПС США (US Air Force). Крім того знаходиться на озброєнні багатьох інших країн. На сьогоднішній день замовникам поставлено більше 19000 літальних апаратів RQ-11 Raven. В комплект RQ-11 Raven входять три безпілотних апарати, запасна батарея і зарядний пристрій з живленням від бортової мережі автомобіля

НММWV. Транспортування комплексу здійснюється у трьох контейнерах.

Технічні характеристики БПЛА (безпілотних літальних апаратів) поділяються на три основні групи:

1. Характеристики польоту

До них належать:

- злітна маса - максимальна маса безпілотного літального апарату в момент зльоту.
- максимальна швидкість - максимальна швидкість безпілотного літального апарату в горизонтальному польоті.
- радіус дії - максимальна відстань, яку може подолати безпілотний літальний апарат від місця запуску.
- плафон - максимальна висота, на якій може перебувати безпілотний літальний апарат.
- тривалість польоту - максимальний час перебування безпілотного літального апарату в повітрі.

2. Характеристики системи управління

До них належать:

- тип системи управління- може бути автономним, дистанційним або комбінованим.
- вид зв'язку з оператором - може бути радіо, оптичним або інфрачервоним.
- система навігації - може бути інерційною, GPS або комбінованою.

3. Характеристики бойового навантаження

До них належать:

- тип бойового навантаження - може бути озброєнням, датчиками або іншими системами.
- вага бойового навантаження - максимальна вага бойового навантаження, яке може бути встановлено на безпілотний літальний апарат.

Крім того, до технічних характеристик БПЛА можуть відноситися такі параметри:

- 1) Розміри
- 2) Форма
- 3) Матеріали виготовлення
- 4) Виробник
- 5) Ціна

Характеристики польоту є одними з найважливіших технічних характеристик БПЛА. Вони визначають можливості БПЛА виконувати різні завдання. Наприклад, БПЛА з великою злітною масою та радіусом дії може використовуватися для тривалих місій розвідки або для доставки вантажу на великі відстані. БПЛА з високою швидкістю може використовуватися для швидкого переміщення в зону виконання завдання.

Характеристики системи управління визначають, як БПЛА керується оператором. Автономна система управління дозволяє БПЛА виконувати завдання без втручання оператора. Дистанційна система управління дозволяє оператору керувати БПЛА з землі або з іншого літального апарату. Комбінована система управління поєднує в собі автономну та дистанційну систему управління.

Характеристики бойового навантаження визначають, які завдання може виконувати БПЛА. БПЛА з озброєнням може використовуватися для нападу на цілі. БПЛА з датчиками може використовуватися для розвідки або спостереження. БПЛА з іншими системами може використовуватися для виконання різних завдань, наприклад, для доставки вантажів або для створення радіоперешкод.

Технічні характеристики БПЛА постійно розвиваються. Завдяки цьому БПЛА стають все більш потужними та здатними виконувати все

більш складні завдання.

Таким чином, проаналізувавши наведені вище аналоги можна дійти висновку, що одним із головних недоліків БПЛА є їхні злітно-посадочні характеристики та їхня вартість. Так, для старту БПЛА необхідно використовувати спеціальне обладнання, що підвищує вартість комплексу й ускладнює експлуатацію. Окрім того, зростає маса БПЛА, що веде до погіршення льотних характеристик. До того ж при парашутному способі посадки досить часто виникають аварійні ситуації, зумовлені наявністю вітру чи рельєфом місцевості. Аеродромний спосіб зльоту та посадки є більш надійним і він не потребує додаткового обладнання, однак він потребує від БПЛА гарних злітнопосадочних характеристик, яких не мають наведені вище БПЛА.

1.2.1 Система обробки даних

Дрони виконують різноманітні завдання, вони вже давно підкорили військову сферу. Так, за думками фахівців, до 2020 року третина військових літаків в розвинених державах стануть “безлюдні”- зменшиться використання кількості людських ресурсів, адже ніякий комп’ютер не зрівняється з людиною в прийнятті рішень в нестандартних ситуаціях. Одним з перспективних напрямків в області інтелектуальних технологій управління та обробки інформації є розробка безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Надійна і безпечна інформаційна взаємодія за допомогою каналу передачі даних між об’єктом і наземною станцією управління являється обов’язковою частиною функціонування комплексу, що включає БПЛА і наземну інфраструктуру управління БПЛА і обмін даними з ним здійснюється по бездротових каналах, в тому числі через Інтернет, що вимагає особливих заходів щодо захисту інформації. Особливості сучасних бездротових технологій зв’язку вимагають в певних ситуаціях посилення існуючих

стандартних засобів захисту даних. Основними вимогами, які пред'являються до сучасних систем шифрування, є вимоги надійності, швидкості, простоти реалізації і використання. З урахуванням специфіки каналу передачі даних БПЛА - НСУ потрібні швидкі і не потребуючі значної обчислювальної потужності і великого обсягу пам'яті. Для забезпечення надійності каналів передачі даних доцільно використовувати комплексний підхід, що включає програмні, апаратні та змішані кошти захисту. Основною проблемою, розвитку та прогресу БПЛА, є забезпечення передачі даних по каналах зв'язку між "безпілотником" і будь-яким пунктом управління. Для розв'язання цієї проблеми потрібно збільшити пропускну здатність і завадостійкість каналів передачі інформації, а також зосередити на борту БПЛА пристрої, що працюють в сонному режимі без необхідності постійного обміну інформацією. Наступною проблемою є вразливість самих каналів передачі даних. Ця проблема розв'язується за рахунок закриття ліній зв'язку, застосування автономних БПЛА, використання супутникових ретрансляторів і т.п. Ще одна організаційна і технічна проблема полягає в необхідності сумісного застосування угруповання БПЛА в єдиних бойових порядках, а також сумісно з пілотованими літальними апаратами.

Система обробки даних БПЛА (UAS) — це комплекс програмного забезпечення та апаратного забезпечення, який використовується для збору, зберігання, обробки та аналізу даних, зібраних БПЛА.



Рисунок 1.8 - Обробка даних БПЛА

Основні компоненти системи обробки даних БПЛА включають елементи:

- бортову систему обробки даних (БСОД), яка використовується для збору даних з бортових датчиків БПЛА.
- наземну систему обробки даних (НСОД), яка використовується для зберігання, обробки та аналізу даних, зібраних БПЛА.
- систему зв'язку, яка використовується для передачі даних між БСОД і НСОД.
- БСОД зазвичай містить такі датчики:
 - камери, які використовуються для збору зображень та відео.
 - радар, який використовується для виявлення та відстеження об'єктів.
 - лідар, який використовується для створення тривимірних моделей місцевості.
 - інфрачервоні датчики, які використовуються для виявлення об'єктів у темряві.
- НСОД зазвичай містить такі компоненти:
 - сховище даних, яке використовується для зберігання даних, зібраних БПЛА.
 - програмне забезпечення для обробки даних, яке використовується для обробки даних, зібраних БПЛА.
 - програмне забезпечення для аналізу даних, яке використовується для

аналізу даних, зібраних БПЛА.

Види систем обробки даних БПЛА.

Системи обробки даних БПЛА можуть бути класифіковані за різними критеріями. Один з критеріїв — це тип БПЛА. Системи обробки даних для військових БПЛА зазвичай більш складні, ніж системи обробки даних для цивільних БПЛА.

Інший критерій класифікації — це тип даних, які збираються БПЛА. Системи обробки даних для БПЛА, які збирають зображення та відео, зазвичай відрізняються від систем обробки даних для БПЛА, які збирають дані радару або лідара.

Розвиток систем обробки даних БПЛА

Системи обробки даних БПЛА постійно розвиваються. З розвитком технологій обробки даних системи обробки даних БПЛА стають більш ефективними та точними. Однією з тенденцій розвитку систем обробки даних БПЛА є використання штучного інтелекту (AI). AI може використовуватися для автоматизації завдань обробки даних, таких як виявлення об'єктів та класифікація даних. Іншою тенденцією розвитку систем обробки даних БПЛА є використання хмарних обчислень. Хмарні обчислення можуть використовуватися для зберігання та обробки даних БПЛА в хмарі. Це може дозволити БПЛА збирати та обробляти інформацію.

Систематизація та обробка отриманих даних дає можливість аналізувати обстановку в районі, дає величезну кількість підказок та формує завдання для дорозвідки за допомогою БПЛА. Часто дані, систематизовані за допомогою таблиць, дають цілком чіткі цілі, які не вимагають підтвердження з допомогою БПЛА, а підтверджують одне одного з різних джерел.

Система обробки даних БПЛА відіграє важливу роль у

забезпеченні ефективності та точності БПЛА. Вона дозволяє БПЛА збирати, зберігати, обробляти та аналізувати дані, необхідні для виконання різних завдань, таких як розвідка, спостереження, цілевказування та інші. Ось деякі приклади того, як система обробки даних БПЛА може використовуватися:

1) У військових цілях система обробки даних БПЛА може використовуватися для збирання розвідувальних даних, таких як зображення та відео, для виявлення та відстеження цілей, а також для цілевказування для зброї.

2) У цивільних цілях система обробки даних БПЛА може використовуватися для збирання даних про навколишнє середовище, таких як зображення та відео, для моніторингу інфраструктури та для виконання інших завдань.

1.2.2 Інтеграція з іншими системами

Інтеграція БПЛА з іншими системами є важливим аспектом їх використання. Це дозволяє БПЛА взаємодіяти з іншими системами, такими як системи управління повітряним рухом, системи зв'язку та системи аналізу даних. Інтеграція БПЛА з іншими системами може бути здійснена за допомогою різних методів. Одним із методів є використання стандартів. Стандарти забезпечують уніфікований спосіб взаємодії між різними системами. Наприклад, стандарти, такі як STANAG 4671, визначають, як БПЛА повинні взаємодіяти з системами управління повітряним рухом. Іншим методом інтеграції БПЛА з іншими системами є використання програмного забезпечення. Програмне забезпечення може бути використано для створення інтерфейсів, які дозволяють БПЛА взаємодіяти з іншими системами. Наприклад, програмне забезпечення може бути використано для створення інтерфейсу, який дозволяє БПЛА отримувати дані від систем зв'язку.

Інтеграція БПЛА з іншими системами має ряд переваг. Це дозволяє БПЛА:

- більш ефективно виконувати завдання. Наприклад, інтеграція БПЛА з системами управління повітряним рухом може дозволити БПЛА уникати зіткнень з іншими літаками.
- більш точно виконувати завдання. Наприклад, інтеграція БПЛА з системами аналізу даних може дозволити БПЛА виявляти об'єкти з більшою точністю.
- більш безпечно виконувати завдання. Наприклад, інтеграція БПЛА з системами зв'язку може дозволити операторам БПЛА отримувати інформацію про стан БПЛА.

Інтеграція БПЛА з системами управління повітряним рухом дозволяє БПЛА літати в безпечному та узгодженому з іншими літаками режимі.

Існує кілька способів інтеграції БПЛА з АТМ. Один із способів - використання стандартів. Стандарти, такі як STANAG 4671, визначають, як БПЛА повинні взаємодіяти з АТМ.

Інший спосіб інтеграції БПЛА з АТМ - використання програмного забезпечення. Програмне забезпечення може бути використано для створення інтерфейсів, які дозволяють БПЛА взаємодіяти з АТМ. Наприклад, програмне забезпечення може бути використано для створення інтерфейсу, який дозволяє БПЛА отримувати інформацію від систем АТМ.

Інтеграція БПЛА з АТМ має ряд переваг. Це дозволяє БПЛА: більш ефективно виконувати завдання. Наприклад, інтеграція БПЛА з АТМ може дозволити БПЛА уникати зіткнень з іншими літаками. Більш точно виконувати завдання. Наприклад, інтеграція БПЛА з АТМ може дозволити БПЛА дотримуватися правил і процедур АТМ, а також

безпечно виконувати завдання. Наприклад, інтеграція БПЛА з АТМ може дозволити операторам БПЛА отримувати інформацію про стан БПЛА в реальному часі.

1) Інтеграція БПЛА з системами зв'язку дозволяє операторам БПЛА отримувати та передавати інформацію від БПЛА. Використання стандартів. Стандарти, такі як STANAG 4586, визначають, як БПЛА повинні взаємодіяти з системами зв'язку.

Використання програмного забезпечення. Програмне забезпечення може бути використано для створення інтерфейсів, які дозволяють БПЛА взаємодіяти з системами зв'язку.

2) Інтеграція БПЛА з системами аналізу даних дозволяє БПЛА виявляти об'єкти та отримувати інформацію про навколишнє середовище з більшою точністю.

3) Інтеграція БПЛА з іншими системами є важливим напрямком розвитку безпілотних літальних апаратів. Це дозволяє БПЛА ставати більш ефективними, точними та безпечними.

4) Управління та Навігація.

Автопілот та системи навігації: Забезпечення можливості взаємодії БПЛА з системами управління для визначення маршрутів та точного пілотування. Дистанційне управління: Забезпечення можливості дистанційного управління та моніторингу БПЛА зі стацій земного контролю.

5) Безпека.

Шифрування та аутентифікація: Захист від несанкціонованого доступу шляхом використання шифрування та аутентифікації даних та команд. Антивірусна захист: Врахування заходів безпеки для запобігання злому та несанкціонованому доступу.

6) Інтеграція з ІТ-системами:

Системи управління ресурсами: Інтеграція з системами управління

ресурсами, такими як планування роботи, відстеження обладнання та звітність.

7) Геоінформаційні системи (ГІС): Використання інформації з ГІС для визначення оптимальних маршрутів та місць місій.

8) Стандартизація та Відкриті API:

Стандарти промисловості: Використання встановлених стандартів для забезпечення сумісності та інтероперабельності між різними системами. Відкриті API: Надання відкритих API для спрощення інтеграції з сторонніми розробниками та системами.

9) Законодавство та Регулювання:

Дотримання законодавства: Врахування та дотримання відповідних правил і нормативів, пов'язаних з використанням БПЛА.

Інтеграція БПЛА з іншими системами є важливим напрямком розвитку безпілотних літальних апаратів. Це дозволяє БПЛА ставати більш ефективними, точними та безпечними. Деякі додаткові деталі про інтеграцію БПЛА з іншими системами:

Інтеграція БПЛА з системами управління повітряним рухом є складним завданням. Це пов'язано з тим, що БПЛА повинні дотримуватися тих же правил і процедур, що й інші літальні апарати. Інтеграція БПЛА з системами управління повітряним рухом дозволяє уникнути зіткнень між БПЛА та іншими літаками.

Інтеграція БПЛА з системами зв'язку дозволяє операторам БПЛА отримувати та передавати інформацію від БПЛА в реальному часі. Це дозволяє операторам БПЛА контролювати БПЛА та приймати рішення в реальному часі.

Інтеграція БПЛА з системами аналізу даних дозволяє БПЛА виявляти об'єкти та отримувати інформацію про навколишнє середовище з більшою точністю. Це дозволяє БПЛА виконувати

завдання більш ефективно та точно.

Майбутнє інтеграції БПЛА з іншими системами: інтеграція БПЛА з іншими системами буде продовжувати розвиватися в майбутньому. Це пов'язано з тим, що БПЛА стають все більш складними та здатними виконувати все більш складні завдання. Інтеграція БПЛА з іншими системами дозволить БПЛА ставати більш ефективними, точними та безпечними.

1.2.3 Витрати та ефективність використання БПЛА

Оскільки безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все більш популярними для комерційного та рекреаційного використання, важливо враховувати економічні наслідки цих інвестицій. БПЛА пропонують низку потенційних переваг, таких як підвищена ефективність, підвищена безпека та економія коштів. Однак витрати на придбання та експлуатацію БПЛА можуть бути значними, а потенційна віддача від інвестицій не завжди зрозуміла. У цій статті ми досліджуємо економічний вплив БПЛА та з'ясуємо, чи варті інвестиції. Доведено, що використання БПЛА підвищує ефективність багатьох процесів. Наприклад, БПЛА можна використовувати для моніторингу великих ділянок землі або перевірки інфраструктури, зменшуючи потребу в людській праці та підвищуючи точність результатів. Крім того, БПЛА можна використовувати для транспортування вантажів, зменшуючи потребу в більш дорогих послугах доставки. БПЛА також пропонують потенційні переваги безпеки. Їх можна використовувати, щоб забезпечити кращий огляд небезпечних зон, зменшуючи ризик травм або смерті персоналу. БПЛА також можна використовувати для моніторингу дорожнього руху, що знижує ризик аварій. Нарешті, БПЛА можуть допомогти зменшити витрати. Наприклад, БПЛА можна використовувати для перевірки інфраструктури, зменшуючи потребу в більш дорогих ручних

перевірках. БПЛА також можна використовувати для перевезення вантажів, допомагаючи зменшити транспортні витрати. Незважаючи на потенційні переваги БПЛА, витрати на придбання та експлуатацію БПЛА можуть бути значними. Початкова вартість придбання БПЛА може коливатися від кількох сотень до десятків тисяч доларів. Крім того, існують постійні витрати, пов'язані з експлуатацією БПЛА, такі як паливо, технічне обслуговування та страхування. Враховуючи потенційні переваги та витрати БПЛА, важливо розглянути, чи варті інвестиції. Для деяких підприємств економія коштів і підвищення ефективності, які пропонують БПЛА, можуть бути вартими початкових і поточних витрат. Однак для інших підприємств витрати на придбання та експлуатацію БПЛА можуть переважити потенційні вигоди.



Рисунок 1.9 - БПЛА з камерою спостереження

Витрати на БПЛА можуть бути розділені на кілька категорій:

1) Купівля БПЛА. Ціна на БПЛА може варіюватися в залежності від розміру, складності та призначення БПЛА. Наприклад, невеликий БПЛА для розвідки може коштувати кілька тисяч доларів, а великий БПЛА для перевезення вантажів може коштувати мільйони доларів.

2) Вартість експлуатації. Вартість експлуатації БПЛА включає в себе витрати на паливо, запчастини, обслуговування та ремонт. Вартість експлуатації може становити значну частину загальних витрат на БПЛА.

3) Вартість персоналу. Для управління та обслуговування БПЛА необхідний персонал. Вартість персоналу може становити значну частину загальних витрат на БПЛА.

4) Рентабельність безпілотних літальних апаратів.

5) Вплив витрат та ефективності на використання БПЛА

Витрати та ефективність БПЛА є важливими факторами, які впливають на їх використання.

У військовій сфері БПЛА часто використовуються для виконання завдань, які є небезпечними або важкими для виконання екіпажними літальними апаратами. Наприклад, БПЛА можуть використовуватися для розвідки, спостереження та цілевказування.

У цивільній сфері БПЛА використовуються для виконання різноманітних завдань, таких як:

- розвідка та моніторинг;
- доставка вантажів;
- пожежогасіння;
- аварійно-рятувальні роботи;
- сільське господарство;
- розваги.

Оцінка потенційних ризиків, пов'язаних із технологією дронів.

Оскільки в суспільстві зростає поширеність безпілотних літальних

апаратів, більш відомих як дрони, зростає й потенціал пов'язаних із цим ризиків. Незважаючи на те, що ці пристрої можна використовувати для багатьох корисних цілей, таких як екстрені служби, доставка посилок і відеозйомка, важливо враховувати наслідки їх використання для безпеки.

Існує кілька потенційних ризиків, пов'язаних із використанням технології дронів. Зіткнення дронів і пілотованих літальних апаратів може завдати значних пошкоджень, що може призвести до серйозних травм або навіть смерті. Оператори безпілотників також повинні враховувати можливість кібератак і зловживання пристроями хакерами. Крім того, використання дронів може призвести до проблем із конфіденційністю та безпекою, оскільки вони можуть знімати конфіденційні місця та особисту інформацію, яка може зберігатися на пристрої. На щастя, є кроки, які можна вжити, щоб мінімізувати ризики, пов'язані з технологією дронів. Важливо, щоб оператори належним чином зареєстрували свій дрон і дотримувалися всіх відповідних правил безпеки. Крім того, оператори повинні бути в курсі свого оточення під час польоту безпілотника та пам'ятати про інші літаки в цьому районі. Нарешті, оператори повинні переконатися, що програмне забезпечення дрона оновлено, а всі дані, що зберігаються на пристрої, належним чином захищені.

Незважаючи на ризики, пов'язані з технологією безпілотних літальних апаратів, потенційні переваги значно переважають небезпеки. За умови належних заходів безпеки технологія дронів може бути безпечним і ефективним способом виконання різноманітних завдань. Поки оператори усвідомлюють потенційні ризики та вживають необхідних заходів для їх пом'якшення, використання дронів може бути безпечним і надійним варіантом.

З моменту, коли вони вперше піднялися в небо на початку 2000-х років, використання дронів для спостереження стрімко зросло, ставши частиною повсякденного життя багатьох людей у всьому світі. Але разом із цим зростанням постали питання про потенційні наслідки спостереження безпілотниками та про те, хто насправді за нами спостерігає. Позитивним є те, що дрони можуть надати правоохоронним органам потужний інструмент для забезпечення безпеки населення. Використання дронів може дозволити поліції швидко виявляти небезпечні чи підозрілі ситуації або контролювати території, до яких було б важко чи небезпечно дістатися пішки. Крім того, дрони можна використовувати для швидкого реагування на екстрені виклики або для надання важливої допомоги під час пошуково-рятувальних операцій. Але хоча спостереження за допомогою дронів може надати цінну допомогу правоохоронним органам, воно також викликає серйозні занепокоєння щодо конфіденційності. Дрони можна використовувати для стеження за людьми без їх відома, збору відео та аудіо без їхньої згоди. Крім того, оскільки дрони можуть залишатися в повітрі тривалий час, їх можна використовувати для відстеження людей на великих відстанях. Іншою потенційною проблемою спостереження за допомогою дронів є ризик зловживання або неправильного використання. Без належного нагляду та міцної законодавчої бази цілком можливо, що дрони можуть використовуватися для націлювання на окремих осіб або групи з політичних чи особистих причин.

Використання безпілотних літальних апаратів у військових цілях було темою багатьох дебатів останніми роками. Не можна заперечувати той факт, що безпілотники можуть бути неймовірно корисними у військових операціях, пропонуючи низку переваг, таких як розширені можливості спостереження, підвищена точність і здатність досягати важкодоступних місць. Однак існують також серйозні етичні міркування, які слід брати до

уваги при використанні безпілотників у військовому контексті.

Переваги і специфічні якості комплексів з БПЛА передбачують їх роль як високомобільного і ефективного компонента технічних засобів охорони, здатного в короткі терміни не тільки збирати достовірну розвідувальну інформацію, а і вести цілевказівку правопорушника чи іншої загрози, для прийняття вчасного і ефективного рішення щодо її ліквідації чи оперативного прийняття рішень з дій наряду охорони. Ці якості обумовлюють зростання ролі комплексів з БПЛА, які можуть застосовуватися в ході виконання завдань державної охорони військовослужбовцями різних підрозділів УДО України в тактичному та оперативному напрямках (у перспективі – і в стратегічному). Створення власної електронної бази де будуть знаходитися особи, які матимуть певну оперативну інформацію на цих осіб та зменшать можливість створення терористичного акту, що є перспективним напрямком подальших досліджень.

Ще одне питання, яке слід розглянути, — це можливість нецільового використання дронів. Нерегульоване використання може призвести до посилення стеження та потенціалу зловживання владою. Також існує ймовірність використання дронів у зловмисних цілях, таких як шпигунство чи тероризм. У зв'язку з цим постає питання про те, чи повинні військові мати доступ до таких потужних технологій і чи слід їх регулювати, щоб гарантувати їх відповідальне використання.

Нарешті, є питання вартості. Безпілотники можуть бути дорогими в експлуатації та обслуговуванні, і військові можуть не мати ресурсів, щоб інвестувати у велику кількість безпілотників. Це може призвести до нестачі ресурсів і відсутності нагляду, що може призвести до відсутності відповідальності за використання безпілотників.

Підсумовуючи, економічний вплив БПЛА є важливим фактором

при оцінці доцільності цієї інвестиції. Незважаючи на те, що БПЛА пропонують ряд потенційних переваг, витрати на придбання та експлуатацію БПЛА можуть бути значними. Зрештою, важливо зважити потенційні вигоди та витрати, щоб визначити, чи варті інвестиції.

1.3 Методи і системи виявлення БПЛА

Радіолокаційні завади розділяють на: активні — для створення таких завад використовують станції прийому-передачі радіосигналів або спеціальні передавачі завад, а для створення пасивних завад використовують відбивачі радіохвиль. Обидва види завад націлені на маскування або дезінформацію сигналів. Маскувальні завади виконуються постійним потоком хаотично-шумових сигналів, в наслідок цього радіолокаційний ефір забивається, що не дає змогу відразу виявити потрібний сигнал. Дезінформуючі сигнали вони являються тотожними до оригінального сигналу, але містять хибні данні. Маскуючі активні завади зазвичай мають вигляд радіочастотних коливань, які подібні до власних шумів радіолокаційного приймача. Також, за шириною частотного спектра завади ділять на прицільні та загороджувальні. Ширина спектра прицільних завад є тотожною з пропускнуою здатністю радіоприймача. Такі завади є налаштованими на фіксовану частоту та мають вузький спектр дії. Метою прицільних завад являється пригнічення окремих радіо завад. Для їх створення потрібні точні параметри локатора, котрий потрібно дестабілізувати. Такий тип завад дозволяє створити перевищення рівня завади над відбитим радіолокаційним сигналом для станцій з невеликим радіусом дії. Загороджувальні же завади перекривають частину радіочастотного діапазона. Активні завади можуть одночасно буди маскуючими та дезінформуючими, при умові що радіолокаційний сигнали буде зондуючого типу, які модульовані по амплітуді та інших характеристик

сигналу. В залежності від типу сигналу, що пригнічується та класу радіоелектронного прилада, обираються різні інформаційні критерії.

Найважливішою енергетичною характеристикою завадового сигналу є мінімальне відношення енергії сигналу до енергії корисного сигналу на вході приймального радіоелектронного пристрою, який глушиться в смузі його лінійної частини, при якому з'являється інформаційний збиток. Інформаційний збиток утворюється внаслідок впливу завад, він проявляється в затримці передачі даних, імітації та маскуванні. Характер шкоди, який буде нанесений інформації залежить від видів завадового сигналу та пристрої радіочастотних пригнічення.

1.3.1 Системи виявлення дронів і протидронні системи



Рисунок 1.10- Система виявлення дронів

Сфера застосування БПЛА (безпілотні літальні апарати, або дрони) сьогодні розширилася. Дуже часто дрони з'являються в аеропортах, в пристроях безпеки (пунктах затримання, військових заводах), а також використовуються для відстеження людей. Багато людей оцінили переваги повітряної розвідки і не замислюючись активно користуються нею, порушуючи особисте життя і роблячи

неможливим займатися своїми справами.

Виробники постійно модернізують моделі, що дозволяє практично непомітно з повітря збирати інформацію про об'єкти, що нас цікавлять, причому неважливо, це людина, група людей або територія вашої компанії. Проблема використання дронів в неналежних цілях є пріоритетною в усьому світі.

Чим дорожче пристрій, тим складніше протистояти йому, що робить складну задачу боротьби з дронами нерівноправним боєм, адже без спеціального обладнання звичайній людині нічого протиставити дрону.

Звідси необхідність розробки послідовних стандартів і правил, які, з одного боку, забезпечать простір для розвитку технологій БПЛА і їх широкого застосування в економіці, з іншого боку, забезпечать безпеку громадян та інфраструктуру, що має ключове значення для безпеки держави. Виробники систем протидії БПЛА постійно шукають найбільш ефективні інструменти для вирішення цієї проблеми.

Поєднання цих факторів послужило поштовхом до розробки систем протидії безпілотним літальним апаратам. Противодронна боротьба

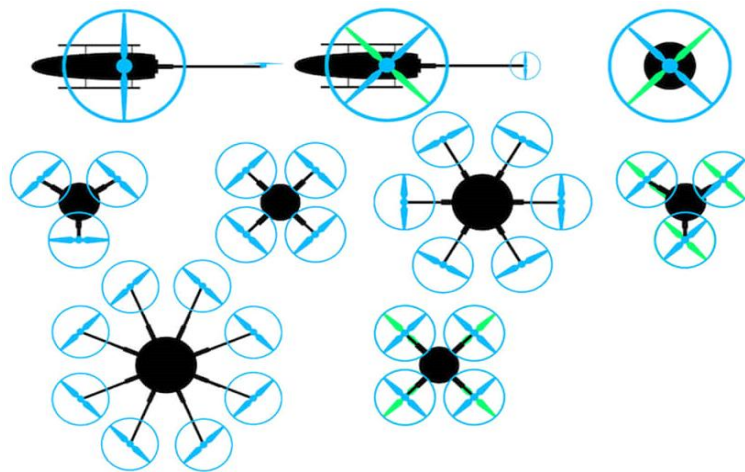


Рисунок 1.11- Захист від дронів

Після того, як військові проаналізували небезпечну ситуацію і беззахисність перед такою загрозою, для них розробили обладнання для

запобігання цих вторгнень, в якості засобів придушення безпілотних літальних апаратів.

Як у випадку з самими дронами, засоби боротьби з військового середовища швидко поширилися на цивільний сектор. Компанії, що стали володарями глушників дронів, оцінили ці пристрої, тому що у них з'явилася гідна зброя, яка може заглушити дрон, але не тільки придушити сигнал, а ще й знайти оператора, який ним керує. Крім того, були розроблені спеціальні промислові системи на основі радарів, які виявляють дрон, що наближається, задовго до того, як він увійде в захищену зону, і швидко реагують на загрозу.

Також не обійшлося без захисту від квадрокоптерів для звичайних людей, вони розробили невеликі портативні глушилки для дронів, які можна брати з собою. Такі глушники працюють від акумулятора кілька годин.

Допитливі, які хочуть поспостерігати за вами з повітря, будуть неприємно здивовані, коли вони втратять здатність керувати дроном і ризикують втратити своє недешеве обладнання.

Таким чином, власник глушника дронів може захистити свої інтереси в ситуації, коли його конфіденційність знаходиться під загрозою.

Однак на даний момент не існує такої системи, яка могла б захистити на сто відсотків від БПЛА, тому що кожен об'єкт має різні характеристики, інфраструктуру і розташування на місцевості. Ось чому для забезпечення максимального захисту від БПЛА необхідно застосовувати відповідне рішення в залежності від розміру об'єкта і різних систем політики безпеки:

1. Профілактичні:

- внесення до законодавства обмежень використання БПЛА.

- розстановка попереджувальних щитів про обмеження використання БПЛА.

- внесення в ПЗ геолокаційних даних про заборону польоту над певними зонами.

2. Виявлення БПЛА:

- акустичні датчики і системи.
- радарні системи.
- оптичні системи.
- радіочастотні системи.
- мультисенсорні системи.

3. Нейтралізація БПЛА:

- радіопридушення і перехоплення керування.
- БПЛА перехоплювачі.
- зброя стрілецька та інша.

В даний час відомі різні системи і комплекси виявлення і протидії дронам і БПЛА. Методи боротьби хоч і зводяться до декількох напрямків, все ж залежать від конкретного застосування і цілей захисту. Вони працюють на різних фізичних принципах. Тому для правильного вибору обладнання краще проконсультуватися з фахівцем, який спроектує і підбере вам відповідне обладнання.

1. Акустичні (звукові)

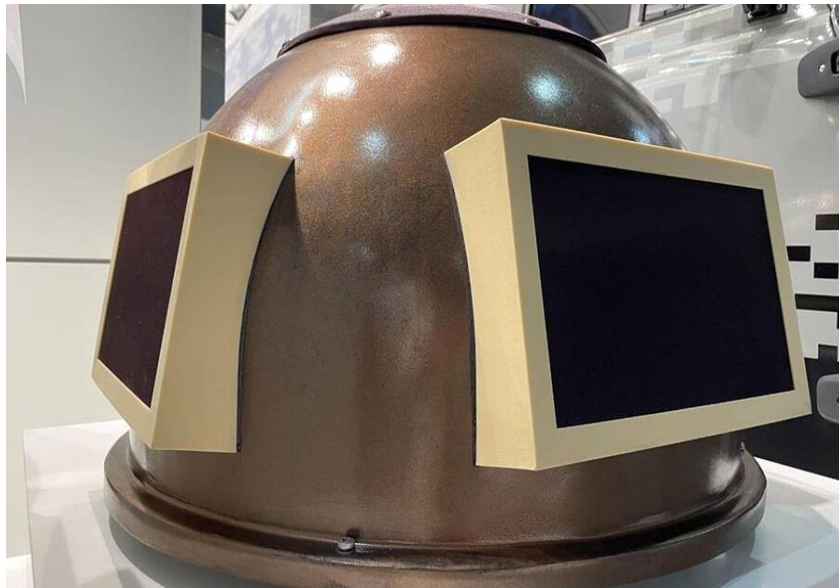


Рисунок 1.12- Детектор звуку

Контролюють спектри звукових частот, характерні для дронів. Вони дозволяють виявити дрон в безпосередній близькості на відстані кілька сотень метрів. Але детектор звуку не працює в міських умовах. Більшість мікрофонів слухає тільки на 25-50 метрів, але через шум в районі будь-який метод аудіовиявлення буде марним. Це також марно при зміні характеристик БПЛА, купуючи різні гвинти або вносячи інші зміни.

2. Візуальні (оптичні)



Рисунок 1.13 - Камери спостереження

Виявляють дрони за допомогою камер спостереження, які знаходять рухомий повітряний об'єкт, намагаючись диференціювати БПЛА і птахів на основі розміру, траєкторії польоту і стилю руху. Камери можуть побачити на відстані не більше 350 метрів. Навіть використовуючи комп'ютерні алгоритми, які відстежують політ моделі, визначити птах це або БПЛА буде дуже складно. Так, було визнано, що деякі ключові показники польоту БПЛА (наприклад, ширяючий) також виконують багато видів птахів. Прекрасним прикладом цього є чайки.

3. Тепловий



Рисунок 1.14- Теплова камера відеоспостереження

Визначають сигнатуру тепла БПЛА, маючи ефективний діапазон близько 350 метрів для виявлення, але тепловізори менш ефективні, ніж звукові датчики. При цьому більшість БПЛА виготовлено зараз із пластику з електродвигунами, що випромінюють мало тепла, навіть менше ніж птахи, що робить цей метод абсолютно неефективним.

4. Радіочастотні методи.



Рисунок 1.15- Пристрої радіочастотного спостереження

Аналізують радіохвильові сигнали в діапазонах частот, на яких відбувається керування дроном (включає в себе моніторинг частот 2,4 і 5,8 ГГц, а також виявлення SSID і MAC адреси Wi-Fi, які транслюються низькобюджетними комерційними БПЛА). Такі пристрої більш «далекобійні» & raquo;. Але всім цим пристроям складно визначити напрямок (азимут, кут місця), з якого летить цей самий дрон. Більш досконалі пристрої виявлення дронів використовують технології ближньої радіолокації. Основні розробки подібних радарних просунутих рішень використання радіолокаторів для виявлення і боротьби з дронами проводяться в Ізраїлі (MAGOS), США (ICX Technologies Inc., Rockwell Collins), Європі (Prime Consulting and Technologies), в РФ («ЄНОТ», «Радескан-Антидрон», «Купол-М») і в Україні (розробки КП & raquo; НПК & raquo; Іскра & raquo; і ДП НДІ РС «Квант-Радіолокація») і поки застосовуються тільки військовими.

Використовувані технології ближньої радіолокації дають максимально повну інформацію про рух об'єкта, що відстежується: місце виявлення, траєкторію руху місцевістю або акваторією, швидкість руху, розміри. Фіксуються кадри відеоспостереження, в

тому випадку, якщо є додаткова поворотна платформа з відеокамерою або тепловізором. В якості опцій для радіолокаційних засобів виявлення дронів використовують засоби деактивації дронів. Це радіочастотні генератори перешкод, які просто «засліплюють» дрон, впливаючи на сигнали керування дроном і частоти супутників навігації. Для радіолокаційних засобів виявлення дронів є і обмеження. Вони ефективно працюють на «відкритих» просторах: відкриті ділянки місцевості без високих дерев, висотних будівель, простору акваторії, території аеропортів тощо. До того ж, вони практично не засікають малогабаритні безпілотники, що запускаються в безпосередній близькості або летять на малих висотах. Таких «малюків» не побачать і камери, що працюють з РЛС, через вузькість кутів огляду.

Крім прямих методів виявлення відповідними сенсорами в сучасних системах застосовується комп'ютерна обробка отриманих сигналів для зниження рівня помилок і більш точного вибору протидії в радіочастотних системах боротьби. Найчастіше в імпортованих системах застосовується ПЗ Dedrone Tracker. Це програма для відстеження дронів, яка виявляє небезпеки, створювані дронами, і захищає від них. Програма пропонує передові технології і механізм класифікації, який виявляє і класифікує всі типи дронів. Вона може розрізняти різні типи дронів і розрізняти дрони та інші рухомі об'єкти, такі як літаки, птахи або інші предмети. Втім, є й інші аналоги ПЗ, в тому числі і вітчизняної розробки. Але всі вони працюють з базою даних, що містить всі параметри дронів, причому оновлюваної в міру випуску нових моделей.

Найбільш повною і актуальною є база даних DedroneDNA. DedroneDNA – це передова система і механізм класифікації, що розпізнає дрони всіх типів. Навчена мільйонам зображень і точок даних, в ній розрізняються різні моделі дронів і визначається різниця між дронами та іншими рухомими об'єктами, такими як птахи, літаки або інші об'єкти.

Записи DedroneDNA постійно оновлюються через хмару, що дозволяє системі Dedrone завжди бути в актуальному стані для захисту від новітніх загроз, що визначає її пріоритетне використання для ПЗ різних розробників.

База даних DedroneDNA також використовується програмним забезпеченням DedroneTracker, яке може розміщуватися в хмарі або локально, для виявлення і класифікації дронів. Випадки вторгнення дронів фіксуються за допомогою вбудованих зовнішніх відеокамер і датчиків, в даному випадку DedroneSensors. Програма DedroneTracker збирає різні дані судової експертизи, включаючи модель дрона, виробника, відеоверифікацію, а також час і тривалість активності дрона. DedroneSensors автоматично підключаються до хмари, а часті оновлення програмного забезпечення захищають повітряний простір від новітніх загроз дронів. Камери спостереження, радари та сторонні засоби протидії, такі як автоматичні жалюзі, протитуманні бомби та глушники, також можуть бути легко прив'язані до ПЗ.

Висновок.

Сучасні системи протидії БПЛА широко представлені на ринку в залежності від поставлених цілей. Використовуючи різні системи, шляхом їх інтеграції в одній системі виявлення і боротьби з БПЛА можна забезпечити більш високий рівень безпеки і знизити ймовірність, що БПЛА буде літати в забороненій зоні або заглядати до вас в квартиру. Боротьбу з дронами (БПЛА) необхідно вести тільки законними методами. Застосування всіх систем нейтралізації БПЛА обмежується законом, оскільки БПЛА – це чиясь власність. Застосування різних технічних пристроїв також може порушити закони.

1.4 Радіолокаційні системи виявлення БПЛА

РЛС – це система для виявлення повітряних, морських і наземних об'єктів, а також визначення їх дальності до станцій та геометричних параметрів.

РЛС використовують в військових цілях, для знаходження, та знешкодження ворожих об'єктів. Їх існує велика кількість, і вони поділяються за класифікаціями, такими як:

1. За призначенням:
 - РЛС виявлення;
 - РЛС управління і стеження;
 - панорамні РЛС;
 - РЛС бічного огляду;
 - метеорологічні РЛС;
 - РЛС цілевказівні;
 - РЛС контрбатареїної боротьби;
 - РЛС огляду обстановки;
 - Поліцейський радар;
 - РЛС виміру швидкості снарядів для артилерійських систем .
2. За характером носія:
 - берегові РЛС;
 - морські РЛС;
 - бортові РЛС;
 - мобільні РЛС;
3. За типом дії:
 - первинні або пасивні;
 - вторинні або активні;
 - суміщені;

4. За методом дії:

- надобрійний радіолокатор;
- заобрійний радіолокатор;

5. За діапазоном хвиль:

- метрові;
- дециметрові;
- сантиметрові;
- міліметрові.

Нижче приведені деякі з військових РЛС:

Високомобільний радар кругового огляду МР-18.

Радіолокаційна станція метрового діапазону МР-18 виготовляється в Україні на підприємстві «Науково-виробничий комплекс «Іскра» та призначена для:

- автоматичного виявлення, супроводу та виміру азимута, дальності і курсової швидкості повітряних об'єктів, в тому числі виконаних за технологією «Стелс»;
- визначення напрямків(пеленгів) на постановників активних завад;
- видачі інформації споживачам.



Рисунок 1.16 – РЛС МР-18

Таблиця 1.3 - Тактико-технічні характеристики станції

Діапазон робочих частот	УКХ
Межа роботи станції: за дальністю, км	400
за азимутом, град.	360
за висотою, км	40
Період огляду, с	10,20
Дальність виявлення цілей ЕПР=3-5 м ² (P=0,8 F=10-6): при висоті польоту 100 м, км	27
при висоті польоту 10 км, км	260
при висоті польоту 10...30 км, км	300...360
Тип антени	активна фазована антена решітка
Придушення пасивних завад, дБ	50
Придушення активних завад, дБ	>20
Кількість супроводжувальних трас	300
Кількість транспортних одиниць при виносі пункту керування	1 2
Час розгортання/згортання, хвилин	10/5

П-18 «Малахит» — наземна рухома заводозахищена радіолокаційна станція з висвітленням повітряної та надводної обстановки з цифровою

обробкою та автоматичною передачею інформації. Ця станція призначена для виявлення радіолокаційних цілей, навіть при дії завад, як пасивних, так і активних, як штучних, так і природніх, а також для визначення координат: азимуту, дальності, радіальної швидкості; зав'язки і супроводження траєкторій цілей та видачі їх координат і трас споживачам.

П-18 «Малахит» є модернізованою версією РЛС П-18МУ «Терек». В «Малахита» з'явилася цифрова обробка сигналів, вимірювання швидкості руху повітряних цілей, їх автоматичний пошук і супровід, а також компенсація активних перешкод.

«Малахит» здатний також в автоматичному режимі передавати дані про виявлені повітряні цілі.



Рисунок 1.17 - П-18 «Малахит»

Радіолокаційна станція розміщується на шасі КраЗ і одному вантажному причепі. Радар може виявляти цілі, що рухаються зі

швидкістю до 1000 м/с і супроводжувати до 256 з них.

Технічні характеристики РЛС модифікації «Малахіт» дозволяють:

- виявляти за один огляд зони дії 256 цілей;
- дальність виявлення винищувача типу МіГ (на висотах понад 10 км) — 400 км;
- максимальна висота виявлення — 20 км;
- дальність виявлення малорозмірних цілей на висотах до 300 м — 30-70 км;
- потужність РЛС — 6,5 кВт;
- Час напрацювання на відмову — 2000 годин.

Patriot - американський РЛС супроводу з фазованими антеною решіткою для перехоплення цілі по лінії візування.

Комплекс використовує універсальні РЛС, що виконують функції як виявлення та відстеження цілей, так і цілевказівки та управління ракетами. Може отримувати цілевказівку від РЛС повітряного базування Е-3 «Сентрі» безпосередньо без участі посередницьких командних пунктів. З мінусів Patriota можна назвати те, що радар працює лише в секторі 90 градусів. Зазвичай усі комплекси ППО мають круговий огляд.

Наведення ракети МІМ-104 на ціль здійснюється радіокомандним управлінням із землі за допомогою методу «стеження через ракету». Ракета, що летить, приймає відбитий від мети сигнал наземної РЛС і ретранслює його по односторонньому каналу зв'язку на командний пост. Так як ракета в польоті завжди знаходиться ближче до мети, ніж радар, що супроводжує ціль, то відбитий від мети сигнал приймається ракетою більш ефективно, що забезпечує більшу точність і більш ефективну протидію перешкодам. Таким чином, випромінювач РЛС наведення працює на дві приймальні станції: приймач самого радара та приймач ракети. Керуючий комп'ютер зіставляє

дані, отримані від наземної РЛС і від ракети і виробляє поправки до траєкторії, направляючи ракету в ціль.



Рисунок 1.18 – ЗРК Patriot

Модель МІМ-104В має режим автономного пасивного наведення ракети на джерело сигналу. Такий режим може використовуватися для ефективного ураження літаків, постановників радіоперешкод та наземних радарів, що діють у радіусі дії системи.

Склад ЗРК Patriot:

- пункт керування (КП батареї) AN/MSQ-104
- багатофункціональна станція радіолокації (РЛС) AN/MPQ-65
- до восьми пускових установок (ПУ) M901
- зенітні керовані ракети МІМ104 (МІМ104С для модифікації РАС-2)
- джерела енергопостачання AN/MJQ-20
- засоби зв'язку комплексу
 - а. радіорелейні станції AN/MCR-137
 - б. антено-щоглові пристрої (максимальна висота 30,5 м)
- допоміжне експлуатаційне обладнання

- a. транспортно-зарядні машини (тягач М819 з підйомним краном та напівпричіп М269А1 з чотирма ТПК)
- b. рухомий пункт технічного обслуговування на шасі М814 з генератором, розміщеним на причепі
- c. автомобіль для транспортування малогабаритних запасних частин
- d. тягач М819 з підйомним краном та напівпричіп для великих запасних частин

– засоби радіотехнічного та тактичного маскування

Patriot використовує багатофункціональна РЛС AN/MPQ-65, основна приймально-передавальна ФАР якої, діаметром 2,44 метра, використовується при виявленні, супроводі та підсвічуванні цілей, стеженні за ракетами та передачі команд. Вона представляє собою грати з просторовим прохідним методом живлення, що складається з 5161 випромінюючого елемента з феритовими фазообертачами. Вся зона, що переглядається, ділиться на 32 сектори (по 90 квадратних градусів), при перегляді кожної з них РЛС сканує рядково променем ФАР, час сканування становить 3,2 с.

Характеристики AN/MPQ-65:

- Діапазон довжин хвиль 5,5 - 6,7 см (4-6 ГГц);
- Сектор огляду в режимі пошуку:
 - o по азимуту від +45 до -45 °;
 - o по кутку місця 1 - 73 °;
- Сектор супроводу в режимі наведення через ракету:
 - o по азимуту від +55 до -55 °;
 - o по кутку місця 1 - 83 °;
- Дальність виявлення при ЕПР мети:
 - o 0,1 м² (головна частина ракети) 70 км;
 - o 0,5 м² (ракета) - 100 км;

- o 1,5 м² (винищувач) - 130 км;
- o 10 м² (бомбардувальник) - 180 км;
- Одночасний супровід до 125 цілей;
- Максимальна швидкість цілі 2200 м/с;
- Одночасне наведення до 6 ракет;
- Час виявлення 8-10 с;
- Час розгортання 25 хв;

РЛС встановлюється у напрямі очікуваної загрози та зберігає це положення у процесі стрілянини. Напрямок антени по азимуту може бути змінено у перервах між відображеннями нальотів дистанційно: за командою з пункту керування шляхом повороту всієї РЛС щодо напівпричепа.

2 ФІЗИЧНІ І ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РАДІОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ БПЛА

2.1 Акустичне випромінювання БПЛА

Джерелами акустичного сигналу БПЛА є двигун і несучі гвинти. Дослідженню особливостей акустичного сигналу, сформованого і випромінюваного БПЛА, присвячено низку теоретичних та експериментальних робіт. Показано, що структура і параметри акустичного сигналу БПЛА залежать від виду об'єкта, його форми, кількості двигунів, кількості несучих гвинтів тощо. Слід зауважити, що дослідження акустичного поля літальних апаратів було розпочато ще напочатку 20-го століття і досить інтенсивно продовжувалися в 30,40-ті роки минулого століття. Дослідження виконувалися з метою розвитку акустичного методу виявлення літальних апаратів, які мали на той час досить серйозні характеристики: дальність, швидкість, висоту польоту, корисне навантаження. Однак потім акустичний метод виявлення літаків був витіснений радіолокацією, що дала змогу забезпечити значно кращі характеристики з виявлення літальних апаратів - дальність, всепогодність тощо, передусім унаслідок кращого розповсюдження радіохвиль в атмосфері землі в порівнянні з акустичними хвилями. Водночас необхідно зазначити, що вже в зазначений часовий період було отримано досить серйозні результати в теоретичному плані щодо дослідження формування акустичних хвиль літальними апаратами та поширення акустичних коливань в атмосфері, які не втратили свого значення й у теперішній час. Зазначимо, що монографія являє собою перевидання книги, яка вперше побачила світ у 1940 р. Певних

успіхів у заданий період було досягнуто і в галузі розвитку акустичної техніки - акустичних антен тощо. І тепер ми повертаємося до акустичних методів виявлення літальних апаратів уже на новому, досконалішому етапі розвитку технологій. Експериментальні дослідження структури та параметрів звукового поля БПЛА у вигляді квадрокоптера показали, що спектри його акустичного випромінювання містять яскраво виражені гармонійні складові, що мають частоти, кратні частоті обертання гвинта. Основний тон перебуває в смузі частот 80-240 Гц, а кількість гармонік може бути від 10 до 40. Спектр сигналу простягається до частот понад 10-14 КГц]. У режимі польоту спектральні лінії акустичного випромінювання квадрокоптера розмиваються внаслідок відмінності режимів роботи (частоти обертання) наявних чотирьох двигунів під час компенсації автоматикою БПЛА впливу дестабілізаційних чинників, що виникають у процесі польоту. Цей фактор може бути однією з інформаційних ознак класифікації БПЛА серед інших об'єктів. Розширення спектральних ліній проявляється сильніше при збільшенні номера гармоніки. Усі зазначені особливості акустичного сигналу БПЛА спостерігаються на спектрограмі рис. 2.1.

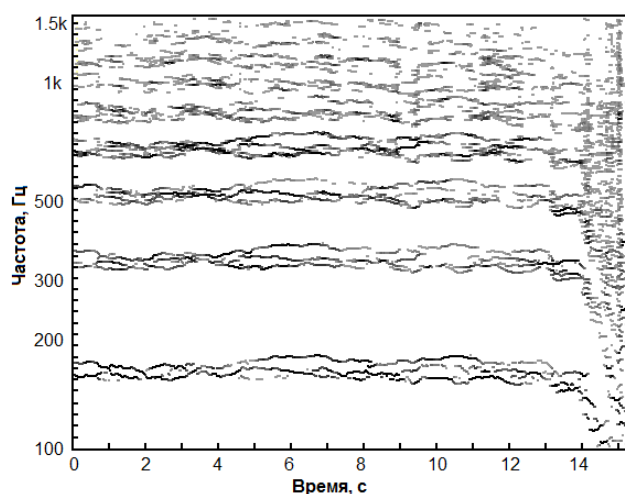


Рисунок 2.1- Спектрограма акустичного сигналу квадрокоптера

Спектральні гармонійні складові акустичного сигналу квадрокоптера ширші, ніж у моноплана, що пояснюється відмінністю режимів роботи двигунів у процесі польоту або під час відпрацювання системою компенсації вітрових збурень. У міру збільшення відстані, що пройшла акустична хвиля в атмосфері, відбуваються зміни в спектрі акустичного випромінювання (АВ), що супроводжуються помітним ослабленням високочастотних складових. Зміни форми спектрів АІ БПЛА в реальних умовах спостереження зумовлені дисперсійними властивостями середовища, а також мінливістю характеристик просторової спрямованості випромінювання в смузі частот. Важливе значення для практики мають діаграми випромінювання БПЛА, що характеризують розподіл випромінюваної акустичної енергії за напрямками. У низці робіт розглядалася просторова спрямованість звукового випромінювання БПЛА, зокрема в роботах зроблено висновок про те, що в першому наближенні БПЛА може вважатися ізотропним джерелом випромінювання. Водночас, експерименти показують суттєву спрямованість випромінювання як окремих елементів конструкції апарата - гвинтомоторної групи, електродвигунів квадрокоптера, так і всієї конструкції в цілому. Показано, що просторові розподіли як окремих спектральних (гармонійних) складових, так і повної енергії (в усьому діапазоні частот), є суттєво анізотропними. Нормалізовані характеристики просторової спрямованості акустичного випромінювання квадрокоптера DJI Phantom 3 у вертикальній площині для перших чотирьох гармонік лопатевої частоти повітряного гвинта представлені на рис. 2.1.2. Аналіз представлених результатів показує, що з підвищенням номера гармоніки відбувається ускладнення форми характеристики спрямованості: вона стає більш порізаною, збільшується глибина провалів, зменшується ширина пелюсток і відбувається зміна напрямку основного випромінювання.

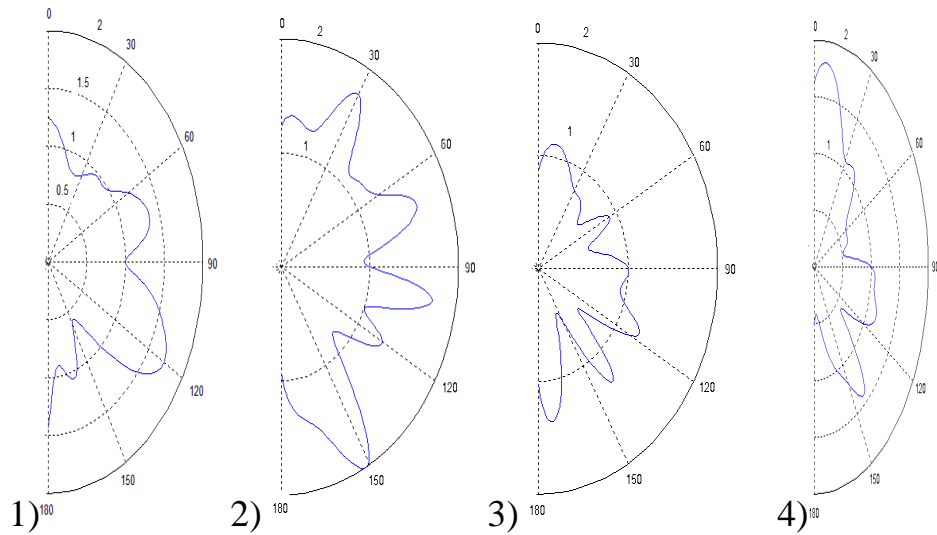


Рисунок 2.2 Нормалізовані характеристики спрямованості акустичного випромінювання квадрокоптера DJI Phantom 3 у вертикальній площині на гармоніках лопатевої частоти гвинта: 1 - 1-ша гармоніка, 2 - 2-га гармоніка, 3 - 3-тя гармоніка, 4 - 4-та гармоніка

Як показано на рис. 2.2, різними ракурсам спостереження БПЛА відповідають різні рівні спектральних гармонійних складових випромінювання, що визначаються характеристиками спрямованості. З цього випливає, що інтенсивність акустичного випромінювання залежно від кута спостереження має описуватися деяким законом розподілу ймовірностей, а дальність виявлення БПЛА з використанням акустичного методу є величиною статистичною, яка залежить від ракурсу спостереження. Звукові хвилі, породжувані БПЛА, є також джерелом інформації в акустичному методі виявлення і спостереження БПЛА, який в даний час інтенсивно розвивається.

2.2. Теоретичні та експериментальні результати розсіювання радіохвиль на звукових хвилях

Під час радіолокації звукової хвилі, що поширюється в атмосфері, одержання відбитого сигналу стає можливим унаслідок часткового відбиття радіохвилі від акустичних коливань, які, поширюючись в атмосфері, модулюють густину повітря, а отже, створюють неоднорідності діелектричної проникності. У борновському наближенні - наближенні одноразового розсіювання, вираз для розсіяного радіосигналу має вигляд:

$$\vec{E}_1(\vec{r}) = \frac{k_e^2}{4\pi} \int_V \frac{\exp\{jk_e|\vec{r} - \vec{r}'|\}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \varepsilon_{\approx}(\vec{r}') [\vec{n} [\vec{E}_0(\vec{r}') \vec{n}]] d^3\vec{r}', \quad (2.1)$$

де $\vec{E}_1(\vec{r})$ - розсіяне поле в точці \vec{r} ;

$\varepsilon_{\approx}(\vec{r}')$ - змінна складова поля діелектричної проникності;

k_e - хвильове число падаючої електромагнітної хвилі;

$\vec{E}_0(\vec{r}')$ - падаюче на розсіювальний об'єм електромагнітне випромінювання;

$\vec{n}(\vec{r}, \vec{r}')$ - одиничний вектор, спрямований зі зміною точки інтегрування (точки розсіювання) до точки спостереження. Початок координат тут поєднано з центром об'єму, що розсіює. Подвійний векторний добуток, що стоїть у підінтегральному вираженні (2.1), описує векторне додавання у точці прийому хвиль, що приходять під різними кутами.

Поле діелектричної проникності завдає розсіювання радіохвиль по звуку представляється як:

$$\varepsilon(\vec{r}', t) = \varepsilon_1(\vec{r}', t) + \varepsilon_s(\vec{r}', t), \quad (2.2)$$

где $\varepsilon_1(\vec{r}', t)$ - власна діелектрична проникність середовища;

$\varepsilon_s(\vec{r}', t)$ - складова діелектричної проникності, породжена звуком

У реальній атмосфері зазвичай завжди виконується нерівність $\langle |\varepsilon_s| \rangle \ll 1$. Це дозволяє отримувати розв'язання задачі наближення одноразового розсіювання. Регулярний компонент діелектричної проникності $\langle \varepsilon_1 \rangle$ з достатнім ступенем точності можна вважати рівним одиниці, а турбулентні флуктуації набагато менше одиниці і на кілька порядків менше величини $|\varepsilon_s|$.

Вплив турбулентних флуктуацій діелектричної проникності на поширення радіохвиль можна знехтувати, тому атмосферна турбулентність входить до остаточних формул лише через флуктуації величини. З урахуванням викладеного, не конкретизуючи вигляд функції $\varepsilon_s(\vec{r}', t)$, вираз для діелектричної проникності середовища запишемо у вигляді:

$$\varepsilon(\vec{r}', t) \approx 1 + \varepsilon_s(\vec{r}', t) \quad (2.3)$$

Достатній для обробки та реєстрації рівень відбитого радіосигналу може бути отриманий лише у разі виконання певних умов. По-перше, необхідне відображення від «цуга» акустичних хвиль завдовжки $N_s \lambda_s$, при $N_s \gg 1$, подруге, потрібно виконання умови Брегга:

$$\lambda_e = 2\lambda_s \sin \theta \quad (2.4)$$

де λ_e - довжина електромагнітної хвилі;

N_s - кількість періодів (довжина хвиль) акустичної неоднорідності, що у формуванні розсіяного радіосигналу;

λ_s - довжина хвилі акустичних коливань;

θ - кут між фронтом акустичної хвилі та напрямом поширення радіохвилі.

Виконання умови Брегга призводить до того, що радіохвилі, відбиті від різних ділянок акустичного цуга, складаються синфазно, і амплітуда сумарного відбитого радіосигналу збільшується.

Вперше на принципову можливість розсіювання радіохвиль на акустичних хвилях було зазначено у фундаментальній теоретичній монографії.

Довжина радіохвилі першої експериментальної радіоакустичної системи зондування атмосфери ЕМАС, створеної 1961 р., становила $\lambda_e = 3$ см, довжина акустичної хвилі – $\lambda_s = 1,5$ см, а максимальна дальність дії – 30 м. Отримана дальність розчарувала дослідників і наступна розробка з'явилася лише 1972 р., коли було з'ясовано причину малої дальності зондування – значне згасання високочастотних акустичних хвиль у атмосфері. Установа називалася RASS і мала такі параметри: $\lambda_e = 8,15$ м; $\lambda_s = 4,075$ м. За допомогою цієї установки вдалося отримати відбитий сигнал з висоти 1,5 км, але мінімальна висота зондування становила 600 м, а просторова роздільна здатність – 200 м.

У більшості наступних установок радіоакустичного зондування атмосфери застосовувалися імпульсне акустичне випромінювання і безперервне монохроматичне радіовипромінювання, використовувалися окремі приймальна і передавальна радіоантени, що рознесені на деяку відстань. Акустична антена, що передає, як правило, розташовується посередині між радіоантенами. Така схема розташування антен у сукупності із зазначеною комбінацією зондувальних радіо та акустичного сигналів (схема побудови системи) отримала назву «основний».

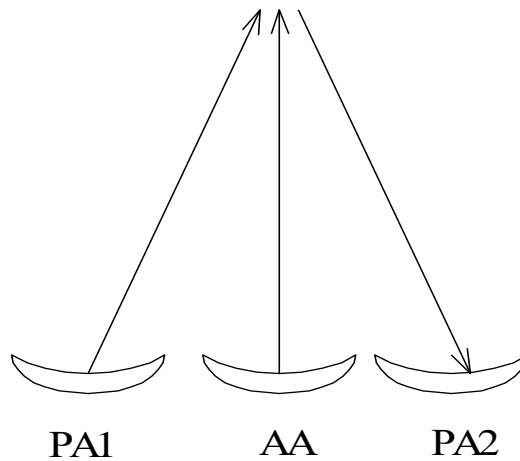


Рис. 2.3 - Схема розташування антен станції радіоакустичного зондування атмосфери

РА1 - передавальна радіоантена;

АА – акустична антена;

РА2 – приймальна радіоантена.

До середини 80-х років, коли сформувалися принцип побудови та структура доплерівської радіоакустичної системи (РАС), у світі налічувалося близько 10 працюючих установок РАЗ, більшість з яких були побудовані за основною схемою.

Усі системи (крім ЕМАС і РАЗ-10), що були на той час, були стаціонарними. Як передавальних і приймальних радіоантен найчастіше використовувалися параболічні дзеркальні антени, як акустичні випромінювачі - решітки динаміків.

Зазначимо, що у колишньому Радянському Союзі, а нині в Україні дослідження методу та систем радіоакустичного зондування (РАЗ) найбільш інтенсивно проводились (і проводяться нині) саме у Харківському інституті радіоелектроніки (тепер ХНУРЕ). За період з 1965 р. по 2003 р. тут створено 5 експериментальних установок радіоакустичного зондування, у тому числі першу в Європі, та

виконано великий обсяг атмосферних та апаратурних досліджень.

В даний час станції радіоакустичного зондування атмосфери розробляються в низці країн окремими науковими колективами з метою виконання експериментів з дослідження атмосфери, а також виробляються деякими науково-виробничими фірмами невеликими серіями.

2.3 Радіоакустичний метод виявлення БПЛА

Радіоакустичний метод локації БПЛА полягає у випромінюванні зондувального радіосигналу в досліджувану область простору, прийомі розсіяних по звуку радіосигналів, їх обробці, і виявленні сигналів, що свідчать про наявність в області сканованої простору безпілотного літального апарату. Процес зондування простору, розсіювання радіохвиль, випромінюваних станцією радіолокації, на обуреннях середовища, створюваних акустичними хвилями БПЛА, що летить, представлений на рис.

2.2.1

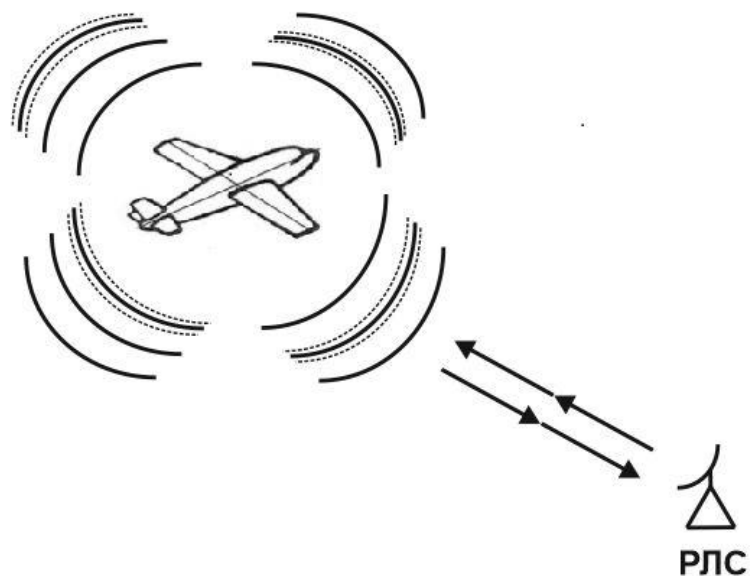


Рис. 2.4 - Розсіювання радіохвиль, випромінюваних РЛС, на обуреннях середовища, створюваних акустичними хвилями БПЛА

Випромінений БПЛА звуковий сигнал зберігає значну інтенсивність на відстані кілька сотень метрів, тому виявлення деякої обуреної цим сигналом області дозволить фактично виявити сам літальний апарат, оскільки дана відстань при досить великих видаленнях БПЛА не є значним.

Як показано вище, БПЛА випромінює акустичні хвилі у діапазоні частот від сотень Гц до 10-15 кГц. Відповідно, діапазон радіохвиль, в якому може бути отриманий розсіяний радіосигнал, що відповідає зазначеному діапазону акустичних хвиль, простягається від $\lambda_e=6,8$ м (відповідає частоті акустичного сигналу $f_s=100$ Гц ($\lambda_s=3,4$ м)) до $\lambda_e=5,4$ см (що відповідає частоті акустичного сигналу $f_s=15$ кГц ($\lambda_s=2,7$ см)).

Вираз, що описує розсіяний по звуку радіосигнал, є досить складним, що ускладнює його використання практично. При вирішенні конкретних прикладних завдань доцільно мати простішу, адекватну математичну модель, яка дозволяла б визначати основні властивості та характеристики радіосигналу, розсіяного на звукових хвилях, що породжуються БПЛА.

Відповідно до викладеного, при проведенні подальших наукових досліджень у цьому напрямку необхідно розробити конструктивні математичні моделі, що описують процес розсіювання, та дослідити властивості радіосигналів, розсіяних на акустичних хвилях БПЛА: їх спектральний склад сигналів, структурні особливості, енергетичні властивості. Необхідно також розробити методи обробки радіосигналів, розсіяних на звукових хвилях БПЛА, з метою виявлення сигналів, що приймаються.

3 СТРУКТУРНА СХЕМА І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ РАС

3.1 Розробка структурної схеми РАС виявлення БПЛА

Розглянемо синтез структурної схеми радіоакустичної станції для виявлення БПЛА та її використання в комплексній системі виявлення та спостереження для комплексного застосування та підвищення ефективності існуючих систем. Основні технічні характеристики проекрованої радіоакустичної системи такі:

- дальність виявлення- більше 50 км;
- діапазон електромагнітних хвиль-сантиметровий;
- принцип дії станції виявлення і спостереження-імпульсна РЛС.

Саме раїолокаційна станція з досить високим енергетичним потенціалом забезпечить можливість виявлення акустичних коливань у середовищі, що створюються БПЛА у процесі польота.

Основні функції проекрованої радіолокаційної системи такі:

- моніторинг повітряної середовища з метою виявлення безпілотних літальних апаратів;
- забезпечення можливості роботи станції з виявлення повітряних об'єктів у ручному та автоматичному режимі;
- відображення радіолокаційної інформації про повітряну обстановку на монітрі смартфона чи комп'ютера;

Структурна схема радіочастини РЛС, що проектується з метою виявлення БПЛА наведено на рис. 3.1.

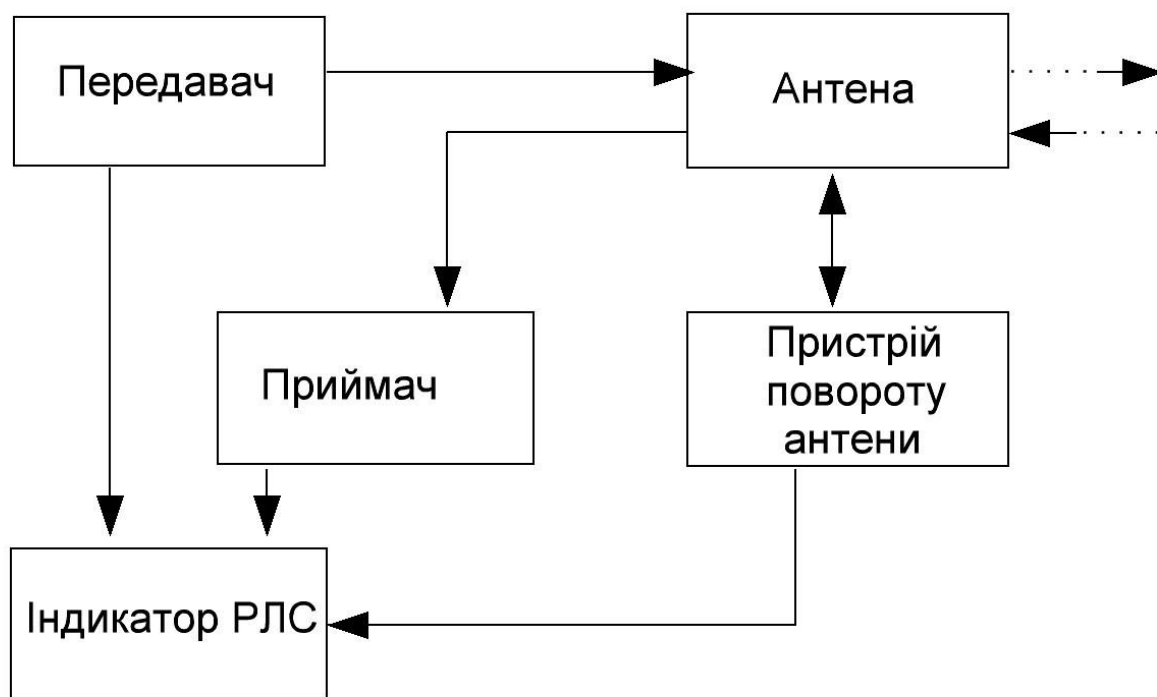


Рис. 3.1 - Узагальнена структурна схема радіоакустичної станції для виявлення безпілотних літальних апаратів

Основні елементи структурної схеми радіоакустичної системи виявлення БПЛА

- радіопередавач системи;
- індикатор РАС;
- Антенa РАС;
- радіоприймальний пристрій системи виявлення БПЛА.

Радіопередавач генерує зондуєчий імпульсний радіосигнал заданої структури та форми, який антеній комутатор ідалі через антену випромінюється в атмосферу. Відбитий від акустичних хвиль розсіяний радіосигнал надходить через антеній комутатор на антену, і далі на вхід радіоприймача, який досить високу чутливість, що дозволяє приймати досить слабкі сигнали. Далі розсіяний сигнал виділяється на фоні шуму, обробляється, і подається в індикатор станції для вимірювання часу затримки

Δt між зонduючим сигналом та відбитим. Година затримки сигналу визначає дальність D до БПЛА $\Delta t=2D/c$, де $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с- швидкість поширення електромагнітних хвиль у атмосфері.

Пристрій повороту приймально-передвальної антени переміщає антенну і відповідно діаграму направленості за кутовими координатами у відповідності до деякого закону, що визначає порядок огляду простору. Інформація про кутове положення антени в момент прийому корисного сигналу надходить на індикатор РАС. Таким чином, при прийомі відбитого від БПЛА сигналу на моніторі відображається кутове положення приймально-передавальні антени, яке визначає кутові координати цілі, в якості якої виступають звукові хвилі, що породжуються БПЛА.

Монітор індикатора РАС виконує функції індикації координат БПЛА-азимуту, дальності до цілі, кута місця БПЛА, висоти виявлених ехо-сигналів.

3.2 Вибір частоти зонduючого радіосигналу

Як відомо, повітря атмосфери складається із суміші газів та водяної пари. Електромагнітні хвилі, прямуючи через атмосферу, поглинаються і розсіюються на різноманітних неоднорідностях, обумовлених надзвичайно високою рухливістю середовища поширення. В остаточному підсумку сигнал, що прийшов на вхід приймача РЛС, за потужністю виявляється меншим за сигнал, розрахований для випадку поширення хвиль у вільному просторі. На рис. 3.2.1 показано усереднені криві, що характеризують втрати радіосигналу при його поширенні в атмосфері, залежно від частоти й углу місця осі головного лепестка антени РЛС при двосторонньому поширенні сигналу.

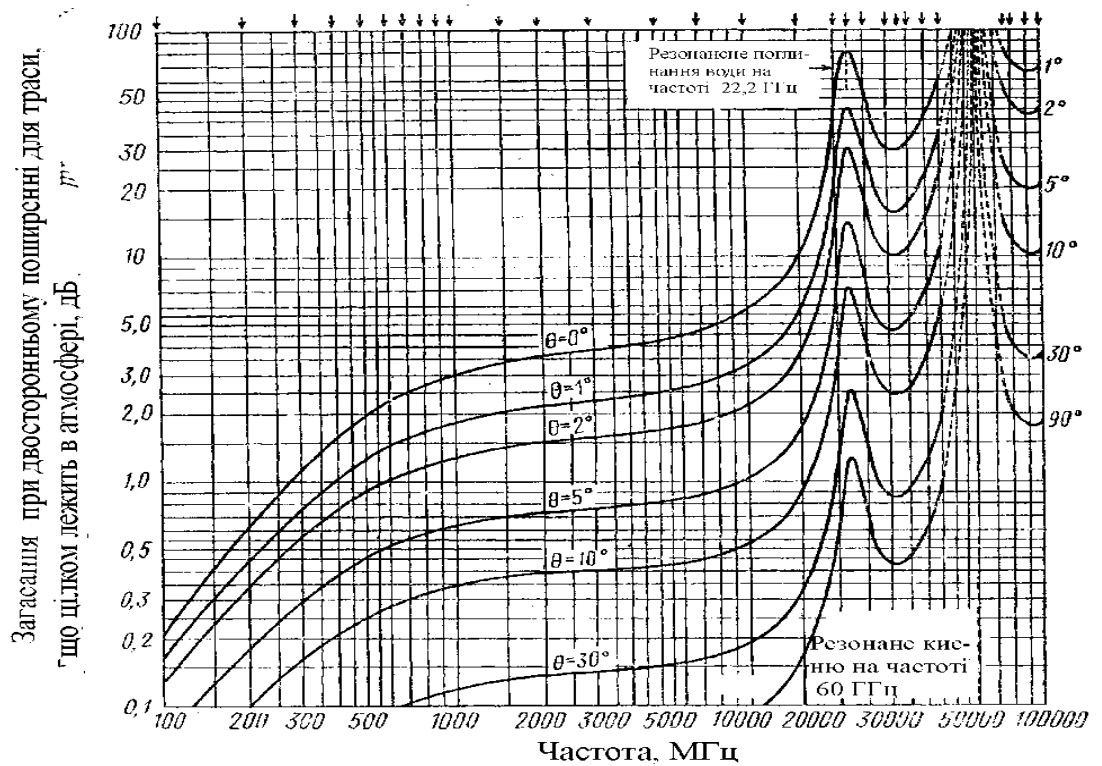


Рис. 3.2- Втрати радіосигналу в атмосфері

На частотах понад 3 ГГц резонансне поглинання водяною парою чинить помітний внесок у загальні втрати на поглинання, а на частотах близько 22,2 ГГц відіграє провідну роль. На частотах порядку 60 ГГц починає виявлятися поглинання радіохвиль атомарним киснем.

Поглинання молекулами кисню максимально на хвилях молекулами водяної пари на хвилі 1,35 см.

Радіоінтерфейс, визначений 3GPP для 5G, відомий як New Radio (NR), а специфікація поділяється на дві лінії частот: FR1 (600-6000 МГц) і FR2 (24-100 ГГц), кожна з різними можливостями.

Щільність водяної пари становить від 2 до 20 г/м³, а на поверхні Землі типове значення становить 7,5 г/м³. Виражене у дБ значення втрат на поглинання водяною парою пропорційне до її густини. Дош суттєво збільшує втрати на поглинання при частотах від 10 ГГц і вище.

Таким чином, молекулярне поглинання значно у см і особливо в мм діапазонах, де воно обмежує дальність дії радіосистем.

Ослаблення енергії радіохвиль опадами (дощем) відбувається як за рахунок поглинання частинками вологи (в основному при малих розмірах крапель дощу, при тумані), так і внаслідок розсіювання (на великих краплях). Чим більше відношення радіусу краплі до довжини хвилі, тим більше втрати енергії за рахунок її розсіювання у всіх напрямках. У довідниках коефіцієнт для дощу зазвичай вказується в залежності від його інтенсивності та тривалості хвилі.

Ослаблення радіохвиль у тумані або в облаках прямо пропорційно концентрації води в ньому. Ці дані наводяться у довідниках.

Ослаблення радіохвиль у граді та снігу значно менше, ніж у дощі або тумані та їх впливом зазвичай нехтують.

Ослаблення енергії радіохвиль при $\lambda > 10$ см. Досить незначно і скорочення дальності дії РЛС дц-го та метрового діапазонів практично не спостерігається.

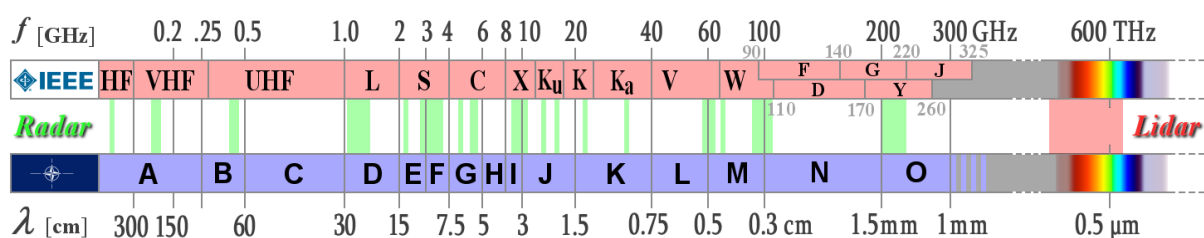


Рис. 3.3 – Діапазони частот і довжин електромагнітних хвиль, що використовуються в радіолокації

Зверху на рисунку приведено розподіл спектру електромагнітних хвиль, що прийнятий Інститутом інженерів з електротехніки та радіоелектроніки (Institute of Electrical and Electronic Engineer, IEEE). Нижче показано класифікацію діапазонів частот, яка прийнята для використання в структурах НАТО. Як бачимо, межі частотних діапазонів урізних класифікаціях не

завжди співпадають.

Зараз прийнято діапазони та піддіапазони частот електромагнітних хвиль називати великими літерами. Такий підхід виник досить давно, ще на зорі радіолокації, коли точне значення робочої частоти сигналу системи радіолокації намагалися тримати в таємниці.

Радіолокаційні системи працюють у широкому діапазоні випромінюваних частот. Чим вище робоча частота зондуючого сигналу, тим більше впливають на поширення електромагнітних хвиль атмосферні явища і гідрометеори, такі як дощ чи хмари. Але в тою же час використання більш високих частот сигналів дозволяє значно покращити точність вимірювання координат радіолокаційної системи.

Розглянемо деякі частотні діапазони, які найбільш часто використовуються в радіолокації. В той же час, діапазон радіохвиль, в якому може бути отриман розсіяний радіосигнал, що відповідає діапазону акустических хвиль, щот породжується БПЛА, діє від $\lambda_e=6,8$ м (відповідає частоті акустичного сигналу $f_s=100$ Гц ($\lambda_s=3,4$ м) до $\lambda_e=5,4$ см (что відповідає частоті акустического сигнала $f_s=15$ кГц ($\lambda_s=2,7$ см).

D-діапазон (L-діапазон)

Цей частотний діапазон (від 1 до 2 ГГц) використовується в РЛС дальнього виявлення з дальністю до 450 кілометрів. Вони випромінюють імпульси високої потужності з широким спектром і найчастіше з внутрішньоімпульсною модуляцією. Внаслідок кривизни земної поверхні максимальна дальність виявлення обмежена для цілей, що знаходяться на досить малих висотах. Такі радіолокаційні цілі, зі збільшенням дальності, дуже швидко зникають за радіогоризонтом.

У цьому частотному діапазоні працюють РЛС далекого виявлення

в системі керування повітряним рухом, такі як оглядовий трасовий радіолокатор (Air Route Surveillance Radar, ARSR).

Якщо букву L мати на увазі як першу в слові Large (великий), то позначення L-діапазон є гарною мнемонічною рифмою для великого розміру антени або великої дальності дії РДЛС.

E/F-діапазон (S-діапазон)

У цьому діапазоні електромагнітних хвиль (2-4 ГГц) атмосферне ослаблення вище, ніж у D-діапазоні. РЛС, які працюють у цьому діапазоні хвиль, мають значно більшу випромінювану потужність для того, щоб досягти хороших значень максимальної дальності дії. Як приклад, можна навести РЛС середньої потужності MPR (Medium Power Radar) з імпульсною потужністю порядку 20 МВт. У цьому частотному діапазоні вплив погодних умов на електромагнітну хвилю сильніший, ніж у D-діапазоні. Тому кілька метеорологічних радіолокаторів працюють в E/F-діапазоні, але, в основному, у тропічних та субтропічних кліматичних зонах, оскільки вони можуть «бачити» за межами сильного шторму.

Спеціальні аеродромні оглядові радіолокатори (Airport Surveillance Radar, ASR) використовуються в аеропортах для виявлення, спостереження та відображення становища літаків у повітряному просторі аеропортів, в середньому, на відстані 50...60 морських миль (близько 100 км). Аеродромні радіолокатори визначають положення літаків та погодні умови в районах як цивільних, так і військових аеродромів.

Позначення S-діапазону (Small, Short – малий, короткий), на противагу позначенню L-діапазону, може трактуватися як позначений менших розмірів антен або меншої дальності дії радіолокаційних засобів.

G-діапазон (C-діапазон)

У G-діапазоні електромагнітних хвиль (від 4 до 8 ГГц) працює багато військових мобільних радіолокаторів (огляду поля бою, управління зброєю та наземної розвідки) з малою та середньою дальністю дії. Розміри антен забезпечують відмінну точність вимірювання і роздільну здатність і, при цьому, вони є порівняно невеликими, не перешкоджають швидкому переміщенню. Вплив поганих погодних умов в даному випадку дуже суттєвий. Тому в РЛС цього діапазону, призначених для роботи з повітряними об'єктами, часто використовуються антени з круговою поляризацією зондуючого сигналу. Цей діапазон частот відведений для більшості типів метеорологічних радіолокаторів, які використовуються для виявлення опадів у помірних кліматичних зонах, таких як Європа.

Виходячи з приведених даних в РАС виявлення БПЛА, яка працює по акустичних коливаннях цього літального апарату, будемо використовувати зондуючий сигнал з довжиною хвилі 10 см.

3.3 Способи огляду простору

В РЛС будемо використовувати електричне керування променем антени за фазовим методом для огляду простору. До останнього часу для здійснення рядкового методу огляду (зокрема, кругового) застосовувалося переміщення всієї антени за допомогою антенного привода (рух по рядку), а також зсув опромінювача з точки фокуса дзеркальної антени (перехід з рядка на рядок). Антенні системи деяких наземних РЛС являють собою складні стаціонарні споруди. Електричне керування променем антени надає можливість уникнути переміщення громіздких механічних конструкцій і має більшу гнучкість.

На рис. 3.3.1, а показані лінійні решітки з n випромінювачів, розташованих на відстані b один від одного, що живляться з постійною різницею фаз φ .

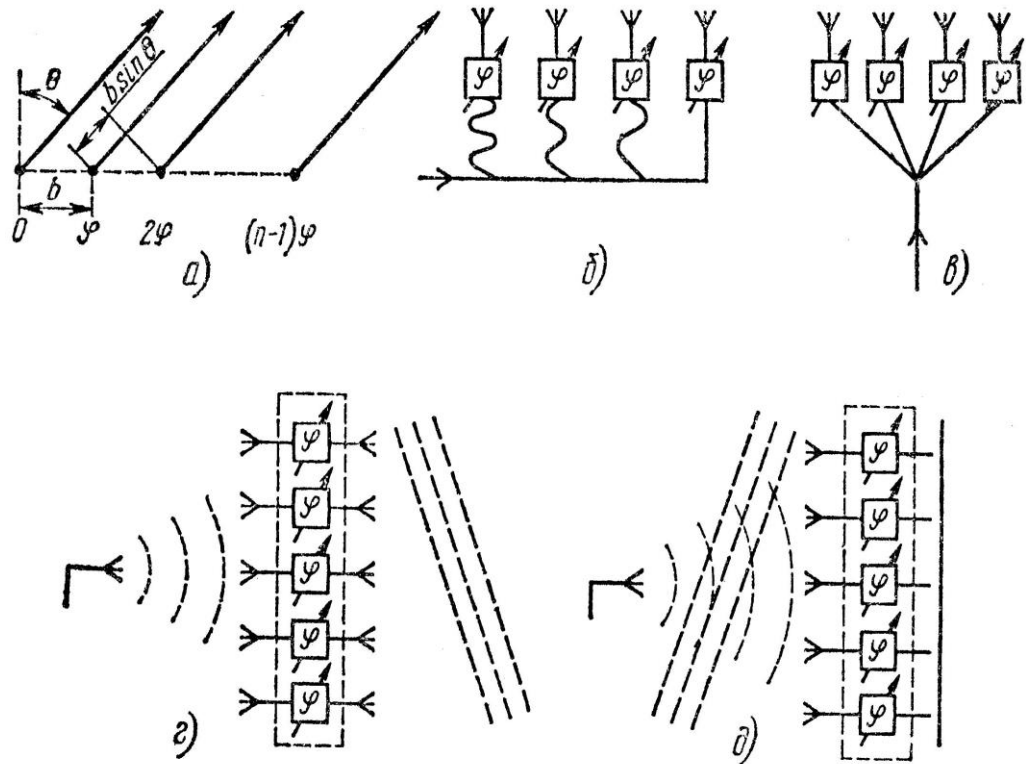


Рис. 3.4 Фазове керування променем антени

Напрямок максимуму головної пелюстки θ_0 буде таким, при якому зсув фаз φ компенсує зсув фаз за рахунок різниці ходу променів, тобто

Звідси

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin(\theta_0) \quad (2.5)$$

$$\theta_0 = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2\pi b} \varphi\right) \quad (2.6)$$

а при малих кутах θ_0 , наприклад, $\theta_0 < 15^\circ$,

$$\varphi \approx \frac{2\pi b}{\lambda} \theta_0 \quad (2.7)$$

Нормована діаграма спрямованості (ДС) антенної решітки, як відомо з курсу «Антенні пристрої», є

$$F_p(\theta, \lambda) = \frac{\sin^2 [n\pi(b/\lambda)(\sin(\theta) - \sin(\theta_0))]}{[\pi(b/\lambda)(\sin(\theta) - \sin(\theta_0))]^2} \quad (2.8)$$

При малих значеннях (напрямок променя близький до нормалі) ширина променя за точками половинної потужності

$$\theta_{0,5} \approx (\lambda/L \cos(\theta_0)) \quad (2.9)$$

де $L = (n - 1)b$ — апертура антени.

Такий характер зміни ширини променя пов'язаний із тим, що при відхиленні максимуму ДС на кут θ_0 «видимі» з цього напрямку розміри всієї антенної решітки зменшуються у $\cos(\theta_0)$ разів. У тих випадках, коли відстань між випромінювачами $b > \lambda/2$, у ДС з'являються пелюстки, амплітуда яких дорівнює амплітуді основного променя (вторинні головні пелюстки). Наприклад, за умови $b = 2\lambda$ вторинні головні пелюстки з'являються при $\theta = \pm 30^\circ; \pm 90^\circ$. Нагадаємо, що зниження рівня бічного випромінювання можна здійснити використанням нерівномірного амплітудного розподілу, пов'язаною з ваговою обробкою сигналів.

Наведений метод керування променем антени іменується *фазовим*, а відповідний антенний пристрій — *фазованою антенною решіткою* (ФАР). Для живлення випромінювачів ФАР використовуються дільники потужності у вигляді закритого тракту чи оптичного типу. У закритих трактах застосовуються хвилевідні та коаксіальні трійники, хвилевідні мости, спрямовані розгалужувачі, виконані за послідовною (рис. 3.3.1, б) чи паралельною (рис. 3.3.1, в) схемою. У кожний з n фазообертачів надходить $1/n$ потужності, а втрати потужності визначаються втратами одного фазообертача. Недолік послідовної схеми — фазові спотворювання внаслідок різної електричної довжини шляху від входу антени до випромінювачів, що вимагає включення компенсаційних відрізків

кабелів (якщо різні електричні довжини шляху не враховуються). Недолік паралельної схеми — складність узгодження при розподілі потужності на велике число каналів.

Такий характер зміни ширини променя пов'язаний із тим, що при відхиленні максимуму ДС на кут θ_0 «видимі» з цього напрямку розміри всієї антенної решітки зменшуються у $\cos(\theta_0)$ разів. У тих випадках, коли відстань між випромінювачами $b > \lambda/2$, у ДС з'являються пелюстки, амплітуда яких дорівнює амплітуді основного променя (вторинні головні пелюстки). Наприклад, за умови $b = 2\lambda$ вторинні головні пелюстки з'являються при $\theta = \pm 30^\circ; \pm 90^\circ$. Нагадаємо, що зниження рівня бічного випромінювання можна здійснити використанням нерівномірного амплітудного розподілу, пов'язаною з ваговою обробкою сигналів.

Наведений метод керування променем антени іменується *фазовим*, а відповідний антенний пристрій — *фазованою антенною решіткою* (ФАР). Для живлення випромінювачів ФАР використовуються дільники потужності у вигляді закритого тракту чи оптичного типу. У закритих трактах застосовуються хвилевідні та коаксіальні трійники, хвилевідні мости, спрямовані розгалужувачі, виконані за послідовною (рис. 3.3.1, б) чи паралельною (рис. 3.3.1, в) схемою. У кожний з n фазообертачів надходить $1/n$ потужності, а втрати потужності визначаються втратами одного фазообертача. Недолік послідовної схеми — фазові спотворювання внаслідок різної електричної довжини шляху від входу антени до випромінювачів, що вимагає включення компенсаційних відрізків кабелів (якщо різні електричні довжини шляху не враховуються). Недолік паралельної схеми — складність узгодження при розподілі потужності на велике число каналів.

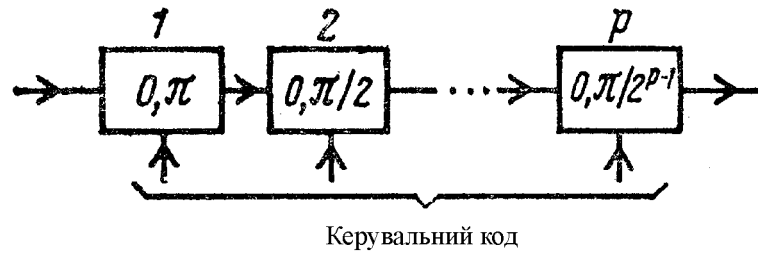


Рис. 3.5 - Дискретний прохідний фазообертач

Загальне число фазових станів фазообертача дорівнює 2^p біт. Наприклад, при $p = 2$ ці каскади забезпечують фазові зсуви 0 чи π - перший і 0 чи $\pi/2$ - другий, отже загальний зсув фаз φ набуває значень $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$. Число керуючих сигналів дорівнює p . Наприклад, у даному випадку зазначеним фазовим зсувам відповідають сигнали $00, 01, 10, 11$. Стрибки відхилення ДС дорівнюють $\Delta\theta_0 = \lambda\Delta\varphi/2\pi b$, де $\Delta\varphi$ — дискрет фази. Якщо прийняти $\Delta\varphi = \theta_{0,5} \approx \lambda/nb$, то $\Delta\varphi^0 = 360^\circ/n$, де n — число випромінювачів в антенній решітці.

Найбільш поширеними на цей час є феритові і напівпровідникові фазообертачі. Ферит використовується як об'ємне середовище у хвилеводі, що змінює магнітну проникність, а отже, фазовий зсув минаючих коливань під дією зовнішнього магнітного поля. В оборотних (взаємних) фазообертачах фазовий зсув не залежить від напрямку поширення високочастотних коливань. У необоротних (невзаємних) фазообертачах потрібно переключення полярності керуючого магнітного поля при роботі в приймально-передавальних ФАР. Важливою позитивною властивістю феритових фазообертачів деяких типів є внутрішня пам'ять: фазовий зсув зберігається до наступного короткого перемагнічувального імпульсу, що не вимагає додаткової енергії керування. Феритові фазообертачі мають питомий фазовий зсув в кілька десятків градусів на сантиметр (що забезпечує

практично фазовий зсув 360° і більше), імпульсну потужність кілька сотень кіловат, а середню — сотні ватів, внесені втрати не перевищують 1 дБ, час перемикання становить 0,1 ... 30 мкс, енергія переключення складає сотні мікроджоулів.

Перемикальними елементами більшості напівпровідникових фазообертачів є *p-i-n* діоди. Вони малі в порівнянні з довжиною хвилі й поводяться як конденсатори ємністю близько 1 пф. При подачі достатнього значення напруги зсуву в шарі чистого напівпровідника (між пластинами конденсатора) інжектується провідна плазма, що обумовлює його низький опір. У такий спосіб виробляється керування положенням короткого замикання в лінії передачі, що і створює значений фазовий зсув. Перевагами напівпровідникових фазообертачів є мала маса і габарити, велика швидкість перемикання, простота керуючих пристроїв, мала споживана потужність, оборотність (взаємність), термостабільність. Внесені ними втрати більші, ніж у феритових фазообертачів (1,5 ... 2 дБ при $\lambda \approx 3$ см), максимальна потужність, що пропускається, в імпульсі близько 10 кВт, час перемикання — 0,1 пс ... 10 мкс. Потужність керування досягає декількох ватів, так що для збереження необхідних фазових зсувів при значному числі фазообертачів потрібна потужність у кілька кіловат.

3.4 Вибір поляризації радіосигналу під час проектування РЛС

У значної кількості вітчизняних радіолокаційних комплексів управління повітряним рухом «Дніпро», а також в закордонних станціях ASR-9 та С-511 використовуються антени з горизонтальною поляризацією.

У станції РЛС 36Д6 при зондуванні і виявленні радіолокаційних цілей також використовують горизонтальну поляризацію. Однак прийом сигналів в цьому випадку здійснюють як з горизонтальною поляризацією (основний радіолокаційний канал), так і з вертикальною поляризацією сигнала (канал

захисту головного променя ДНА від активних шумових перешкод). Наявність каналу прийому завадових сигналів з вертикальною поляризацією при одночасному прийомі сигналів з горизонтальною поляризацією дозволяє забезпечити фільтрацію корисних сигналів при дії активних шумових завад по головному променю ДСА.

У станції РЛС 1РЛ141 основний режим роботи з поляризації аналогічний відомій станції РЛС 36Д6. Однак, до складу РЛС 1РЛ141 введено також поляризатор, який дозволяє змінювати поляризацію сигналів. Наприклад, поляризатор дозволяє використовувати кругову поляризацію сигналів. При відбитті від гідрометеорів поляризація сигналу змінюється на ортогональну. Така ортогональна поляризація відбитих сигналів антеною не приймаються. В той же час відбиті від несиметричних цілей (наприклад, літаків) сигнали мають поляризацію дуже близьку до поляризації сигналів зондуючих і приймаються антеною РЛС. Це підвищує завадо захищеність при впливі пасивних завад, які приймаються від гідрометеорів. Ефективність поляризаційної селекції сигналів можна оцінити величиною близько 10...12 дБ.

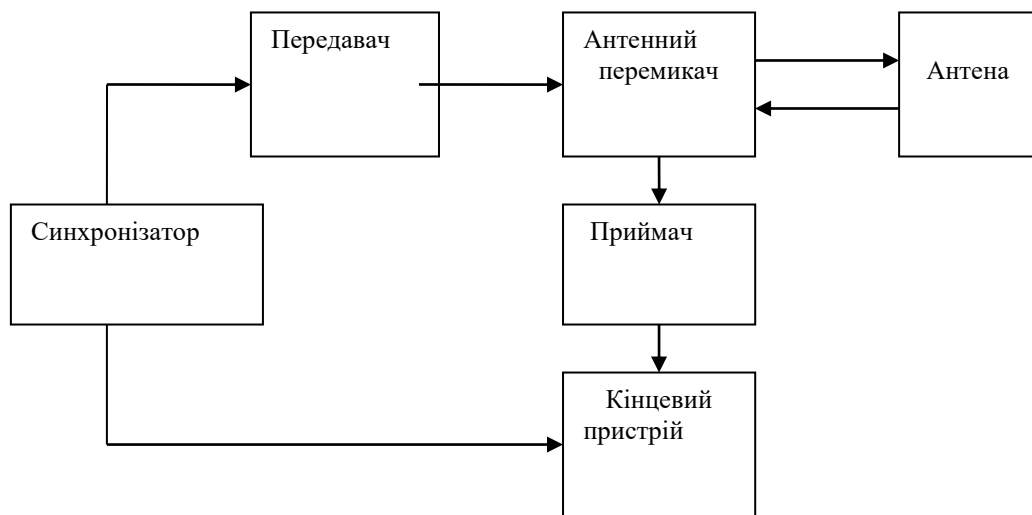
Якщо виявленню підлягають такі об'єкти, як міни чи артелірійські снаряди, вибір поляризації здійснюють залежно від траєкторії їх польоту, і навіть залежно від того, на якій ділянці траєкторії їх треба знайти.

В радіолокаційній станції виявлення БПЛА з розсіюванням на акустичних хвилях будемо використовувати горизонтальну поляризацію зондуючого сигналу, що випромінюється.

3.5 Обґрунтування використання імпульсного методу

радіолокації на станції

Радіопередавач РЛАС формує імпульси з деякою тривалістю і з визначеним періодом повторення. Завдяки антенному перемикачу РЛС працює в режимі передачі під час генерування імпульсу і в режимі прийому весь інший час. Якщо кінцевим пристроєм є індикатор на основі електронно-променевої трубки (ЕПТ), то функцією синхронізатора буде поєднання в часі моментів початку радіоімпульсу і початку розгортки. В будь-якому разі синхронізатор дозволяє зафіксувати момент початку зондувального радіоімпульсу і відносно до цього моменту визначити час затримки імпульсу відбитого радіолокаційного сигналу. Далі згідно можна визначити дальність до цілі.



а)

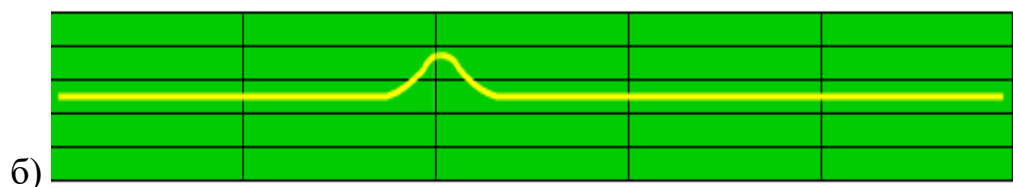


Рис. 3.6 - Схема імпульсного далекоміру (а) і процеси в ньому (б), вид екрану індикатора

Одним з недоліків імпульсного вимірювача дальності є неможливість спостерігати цілі в доволі великій зоні простору поблизу РЛС. Це обумовлено тим, що мінімальна дальність, яку вже можна вимірювати, визначається тривалістю радіоімпульсу τ і часом перемикання антени з передачі на прийом $t_{пер}$:

$$D_{\min} = \frac{c(\tau + t_{пер})}{2} \quad (2.5)$$

В той же час існує і верхня межа однозначного вимірювання дальності, яка залежить від періоду T повторення радіоімпульсів:

$$D_{\max} = \frac{c \cdot T}{2} \quad (2.6)$$

Перевагами імпульсного методу визначення дальності можна вважати використання лише однієї антени, простоту індикаторних пристроїв, можливість одночасного вимірювання дальності декількох цілей.

До недоліків метода, крім неможливості вимірювання малих відстаней, можна також віднести велику необхідну імпульсну потужність передавача.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота "Радіоакустична станція виявлення БПЛА" висвітлила актуальну та важливу проблему в сфері безпеки та контролю повітряного простору. Основною метою дослідження було розроблення та апробація радіоакустичної системи, спроможної ефективно виявляти безпілотні літальні апарати (БПЛА). У роботі були використані сучасні методи та технології, що дозволили створити ефективну систему виявлення, базуючись на аналізі радіоакустичних сигналів, випромінюваних БПЛА. Отримані результати свідчать про високий рівень точності та чутливості розробленої станції, що робить її ефективним інструментом для виявлення та моніторингу безпілотних апаратів у різних умовах. Практична значимість даного дослідження полягає в можливості застосування розробленої радіоакустичної станції для підвищення рівня безпеки повітряного простору, виявлення потенційно небезпечних ситуацій та забезпечення відповідних заходів контролю.

У першому розділі описано засоби дослідження характеристик акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів(БПЛА) та методи їх розпізнавання.

Розглянуто сфери використання БПЛА та існуючі методи і способи виявлення та ідентифікації БПЛА.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню фізичних та технічних основ побудови радіоакустичної станції виявлення та ідентифікації БПЛА.

Третій розділ присвячений питанням синтезу узагальненої структурної схеми радіоакустичної станції виявлення БПЛА і вибору, а також розрахунку основних її технічних апараметрів і характеристик: дальності дії, частоти зондуючого радіосигналу, вибору вида поляризації зондуючого сигналу, вибору и обґрунтуванню метода огляда простору радіоакустичної станції.

Для огляду простора використовується фазована решітка, яка служить для випромінювання сигналів в заданому напрямку, а також для прийому відбитих інформаційних сигналів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 171 «Електроніка» освітньої програми «Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа» / Упоряд.: В.М. Карташов.– Харків: ХНУРЕ, – 2020. – 36 с.

2. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення: Введ. 2015-22-06. – К.: Вид-во стандартів, 2016 – 26 с.

3. В.А.Сергієнко, В.М.Карташов. Можливості виявлення оперативно-тактичних та тактичних безпілотних літальних апаратів // Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті. Т. 1: Конференція "Інформаційні радіотехнології та технічний захист інформації": матеріали 25-го Міжнар. молодіж. форуму, 17–19 квіт. 2021 р. / М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2021. С.49 – 50.

4. В.М. Карташов, В.Н. Олейников, С.А. Шейко. Особенности обнаружения и распознавания малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника. 2018. Вып. 195 – с.235 – 242.

5. Kartashov V.M., Oleynikov V.N, Zubkov O.V., Korytsev I.V., Babkin S. I., Sheiko S.A., Kolendovskaya M.M. Spatial-temporal Processing of acoustic Signals of Unmanned Aerial Vehicles/ Telecommunications and Radio Engineering. –New York. – 2020. – Vol. 79, №9. – P.769-780.

6. V. Kartashov, V. Oleyniko

I. Koryttsev, S. Sheiko, O. Zubkov, S. Babkin. Processing of Wide Band Acoustic Signals During Detection of Unmanned Aerial Vehicles // 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW). Kharkiv, Ukraine, September 21 - 25, 2020. Volume 1 on 2020 IEEE 12th International Conference on Antenna Theory

and Techniques (ICATT). pp. 35-39.

7. V. Kartashov, V. Oleynikov, O. Zubkov, S. Sheiko. Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time // The Fourth International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2019), 9–13 September 2019, Odessa, Ukraine, 4 p.

8. I. Koryttsev, S. Sheiko, V. Kartashov, O. Zubkov, V. Oleynikov, I. Selieznov, M. Anohin. Practical Aspects of Range Determination and Tracking of Small Drones by Their Video Observation // 2020 International Scientific-Practical Conference. Problems of Infocommunications. Science and Technology. Kharkiv, Ukraine. October 6-9, 2020. – 5 p.

9. И.В. Корытцев, С.А. Шейко, В.М. Карташов, О.В. Зубков, В.Н. Олейников, С.И. Бабкин, И.С. Селезнев. Обработка сигналов при пеленгации и определении дальности до среднеразмерных БПЛА в радиолокационном диапазоне // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 125 – 134.

10. В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.А. Шейко, В.Н. Олейников, О.В. Зубков, С.И. Бабкин. Оптико-электронные методы обнаружения воздушных 82 объектов и измерения их координат // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.- техн. сб. – 2020. – Вып. 202. – С. 153 – 159.

11. U. Jayamohan, "Not Your Grandfather's ADC: RF Sampling ADCs Offer Advantages," 2015.

12. "RF Sampling S-Band Radar Receivers," Texas Instruments Design, 2016.

13. J. G. Proakis and D. K. Manolakis, "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Application," 4th Edition, Pearson, 2006.

14. "Mixed-Signal and DSP Design Techniques," Analog Devices, 2002.

15. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для

инженеров и научных работников. – М.: Додэка-XXI, 2012, – 720с.

16. "Model-Based DSP Design Using System Generator, UG897," Xilinx, 2016.

17. "Power Analysis and Optimization, UG907," Xilinx, 2015.

18. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Ю. М. Казаринов [и др.] Под ред. Ю. М. Казаринова. — М.: Академия, 2008. — 590 с.:

19. В.Н. Олейников, О.В. Зубков, В.М. Карташов, И.В. Корытцев, С.И. Бабкин, С.А.Шейко, И.С. Селезнев. Экспериментальная оценка эффективности алгоритмов пеленгования беспилотных летательных аппаратов по акустическому излучению. Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 199. – С. 29 – 37. 81

20. <https://www.radartutorial.eu/html/sm03.ru.html>

21. https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/93446/mod_resource/content/1/%D0%A2%D0%A0-19-2-A%D0%B8%D0%A1_%D0%98C-T2-6.pdf