



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра Кібербезпеки  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Загородна Н.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 125 Кібербезпека  
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Цапурі Максиму Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз систем радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами

Керівник роботи к.ю.н. Доцент Муж В.В.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «16» листопада 2023 року № 4/7-1061

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 грудня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ, 1 Сучасні системи РЕБ, призначення та класифікація БПЛА, 1.1 Історія виникнення РЕБ, 1.2 Тактично-технічні характеристики різних систем РЕБ, 1.3 Призначення БПЛА, 1.4 Класифікація БПЛА, 1.5 Двигун БПЛА, 1.6 Система управління та навігаційна система БПЛА, 2 Виявлення БПЛА 2.1 Виявлення малих БПЛА, 2.2 Виявлення засобами РЛС, 2.3 Виявлення засобами радіо та радіотехнічної розвідки, 2.4 Виявлення засобами оптико-електронної розвідки, 3 Протидія БПЛА методами РЕБ, 3.1 Особливості протидії БПЛА методами РЕБ, 3.2 Радіоелектронна протидія навігаційній системі БПЛА, 3.3 Радіоелектронна протидія радіолініям управління та передачі даних БПЛА, 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, Висновок, Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів): 1 Титульна сторінка, 2 Тема. Мета, 3 Тактико-технічні характеристики комплексів РЕБ «Буковель-AD», «SURICATTA», «Піранья – 5 РАДК», «Красуха-4», «Р-330Ж Житель», «РЕХ-2», «Suspan-Convoy», 5 Класифікація БПЛА за STANAG 4670, 6 Характеристика схемо-технічних рішень БПЛА, 7 Спеціальна апаратура та технічні засоби корисного які розташовані на БПЛА, 8 Діапазони виявлення БПЛА з різними масо-габаритними Параметрами для РЛС

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Осухівська Г.М., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., старший викладач з адміністративно-господарської роботи та будівництва		

7. Дата видачі завдання 16 листопада 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	16.11.2023-17.11.2023	Виконано
2.	Підбір наукових джерел про засоби радіоелектронної боротьби	18.11.2023-20.11.2023	Виконано
3.	Переклад та опрацювання наукових джерел про засоби радіоелектронної боротьби	21.11.2023-23.11.2023	Виконано
4.	Дослідження тактико-технічних характеристик засобів РЕБ	23.11.2023-25.11.2023	Виконано
5.	Дослідження наукових джерел про безпілотні літальні апарати	26.11.2023-28.11.2023	Виконано
6.	Оформлення розділу «Сучасні системи РЕБ. призначення та класифікація БПЛА»	29.11.2023-01.12.2023	Виконано
7.	Оформлення розділу «Виявлення БПЛА»	02.12.2023-04.12.2023	Виконано
8.	Оформлення розділу «Протидія БПЛА методами РЕБ»	05.12.2023-07.12.2023	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	08.12.2023-09.12.2023	Виконано
10.	Виконання завдання до підрозділу «Фактори виробничого середовища і їх вплив на життєдіяльність людей»	10.12.2023-11.12.2023	Виконано
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи	12.12.2023-13.12.2023	Виконано
12.	Нормоконтроль	14.12.2023-15.12.2023	Виконано
13.	Перевірка на плагіат	13.12.2023	Виконано
14.	Попередній захист кваліфікаційної роботи		
15.	Захист кваліфікаційної роботи	27.12.2023	

Студент

---

  
(підпис)

Цапура М. В.

---

  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

---

  
(підпис)

Муж В. В.

---

  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Аналіз систем радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами// Цапура Максим Вікторович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії, кафедра кібербезпеки, група СБм–61 // Тернопіль, 2023 // с. - 85, рис. -10, табл. – 11.

Ключові слова: РЕБ, РЕР, РЕП, РЛС, БРЛА, GPS, ГЛОНАСС.

В кваліфікаційній роботі проводиться аналіз сучасних систем РЕБ які використовуються в Українсько-Російській війні. Висвітлені основні тактико-технічні характеристики цих систем РЕБ. Також розглянуто питання призначення і класифікації безпілотних літальних апаратів та їх роль на полі бою та їх тактико-технічні характеристики. Було висвітлено питання виявлення БПЛА різними методами радіоелектронної війни та боротьби з ними методами РЕБ.

## ANNOTATION

Analysis of Electronic Warfare Systems Against Unmanned Aerial Vehicles // Qualification work of the educational level "Master" // Tsapura Maksym Viktorovych // Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software of engineering, department of cyber security, SBm-61 group // Ternopil, 2023 // p. 85, fig. – 10, tab. – 11.

Key words: РЕБ, РЕР, РЕП, РЛС, БРЛА, GPS, ГЛОНАСС.

The qualification work involves an analysis of modern Electronic Warfare (EW) systems used in the Ukrainian-Russian conflict. It covers the key tactical and technical characteristics of these EW systems. Additionally, the document explores the purposes and classification of unmanned aerial vehicles (UAVs) and their role on the battlefield, along with their tactical and technical specifications. The work also addresses the detection of UAVs using various methods of electronic warfare and countermeasures against them using Electronic Countermeasures (ECM) techniques.

## СКОРОЧЕННЯ

АЕП – атомна електромагнітна імпульсна перешкода;  
АРР – анти-радарні ракети;  
РКП – радарні контр-перешкоди;  
ЕКР – електронна контррозвідка;  
ЕП – електронна підтримка;  
РЕБ – радіоелектронна боротьба;  
КМО – комп'ютерна мережева операція;  
АРП – адаптивна радарна перешкода;  
GPS – Global Positioning System;  
ГЛОНАСС – Радянська глобальна навігаційна супутникова система;  
Galileo – супутникова система навігації Європейського Союзу;  
Beidou – Китайська навігаційна система;  
ЛА – літальні апарати;  
ПВО – протиповітряна оборона;  
ОЕЗ – оптико-електронні засоби;  
РЛС – радіолокаційні станції;  
РЕЗ – радіоелектронні засоби;  
БЦВМ – бортових цифрових обчислювальних машин;  
ОС – операційні системи;  
GPU – Graphics Processing Unit;  
ПЗ – програмне забезпечення;  
ШІ – штучний інтелект;  
СРНС – супутникові радіонавігаційні системи;  
ІНС – інерціальні навігаційні системи;  
РСБН – радіотехнічні системи ближньої навігації;  
РЛР – засоби радіолокаційної розвідки;  
РіРТР – засоби радіо- та радіотехнічної розвідки;  
ОЕР – засоби оптико-електронної розвідки;

ЗКС – земна контрольна станція;

ССН – супутникова система навігації;

ЕМС – електромагнітна сумісність;

РЕО – радіоелектронне обладнання;

ПРД – повітряно-реактивний двигун;

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ .....	5
ВСТУП .....	9
1 СУЧАСНІ СИСТЕМИ РЕБ. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БПЛА .....	10
1.1 Історія виникнення РЕБ.....	10
1.2 Тактико-технічні характеристики сучасних українських систем РЕБ .....	15
1.3 Тактико-технічні характеристики російських систем РЕБ .....	23
1.4 Призначення БПЛА.....	29
1.5 Класифікація БПЛА .....	31
1.6 Двигун БПЛА .....	34
1.7 Система управління .....	36
1.8 Навігаційна система.....	40
1.9 Система радіозв'язку .....	43
2 ВИЯВЛЕННЯ БПЛА.....	45
2.1 Виявлення малих БПЛА .....	45
2.2 Виявлення засобами РЛС .....	46
2.3 Виявлення засобами радіо- та радіотехнічної розвідки .....	49
2.4 Виявлення засобами оптико-електронної розвідки .....	51
3 ПРОТИДІЯ БПЛА МЕТОДАМИ РЕБ.....	55
3.1 Особливості протидії БПЛА методами РЕБ.....	55
3.2 Радіоелектронна протидія навігаційній системі БПЛА.....	59
3.3 Радіоелектронна протидія радіолініям управління та передачі даних БПЛА .....	61
3.3.1 Проблемні питання протидії радіолініям управління та передачі даних БПЛА.....	62
3.3.2 Особливості організації зв'язку у командній радіолінії управління БПЛА.....	65
3.3.3 Особливості організації зв'язку в радіолініях передачі даних з БПЛА.....	65
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	68



4.1 Охорона праці.....	68
4.2 Фактори виробничого середовища і їх вплив на життєдіяльність людей.....	70
ВИСНОВОК.....	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	79
ДОДАТКИ.....	81
Додаток А.....	81

## ВСТУП

У сучасному світі засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) виявляються надзвичайно важливими для подолання терористичних загроз та інших форм агресивної діяльності. Зокрема, досвід ведення бойових дій підтверджує, що ефективне використання безпілотних авіаційних комплексів впливає на успішність бойових та спеціальних операцій. Ці комплекси використовуються не лише для розвідки та спостереження за полем бою, але й для доставки підривних засобів до об'єктів.

Головною перевагою засобів РЕБ є їхні можливості в дистанційному впливі на радіотехнічні системи противника, такі як виведення з ладу їхніх компонентів або приглушення певних ділянок спектра. Дослідження у цій галузі є завжди актуальним, оскільки змагання між системами радіотехнічного подавлення та захисту постійно прогресує.

Аналіз систем РЕБ, зокрема українських та російських, разом із дослідженням сучасних безпілотних літальних апаратів та їхньою класифікацією, є важливим етапом у розумінні сучасних можливостей і вдосконалення заходів безпеки. Зокрема, урахування використання любительських дронів, таких як відомі компанії DJI, визначає необхідність розробки засобів боротьби з ними.

Отже, в даній роботі піддається детальному аналізу сучасні засоби радіоелектронної боротьби, розглядаються їхні характеристики та вплив на безпілотні літальні апарати, що є актуальним напрямком досліджень у зв'язку зі зростанням використання цих технологій у бойових умовах.

## 1 СУЧАСНІ СИСТЕМИ РЕБ. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ БПЛА

### 1.1 Історія виникнення РЕБ

На сучасному етапі розвитку військової науки та технологій досягнення поставлених завдань у бойових операціях не можливі без забезпечення переваги в управлінні військами та зброєю. Забезпечення переваги в управлінні військами стає необхідною компонентою військового протистояння, а боротьба за перевагу в сфері управління стає важливою складовою сучасних операцій .

Виникнення радіоелектронної боротьби є результатом діалектичного розвитку озброєння та військової техніки на етапі, коли досягнення радіоелектроніки широко впроваджувалися в усі системи та ланки управління військами і зброєю.

Початкове використання радіоелектронної боротьби було зафіксовано на початку ХХ століття. З того часу не було жодної значущої операції, де б не використовувався цей вид оперативного забезпечення в різних масштабах.

На сучасний момент радіоелектронна боротьба поступово стає характерною формою бойових дій, спрямованою на досягнення переваги чи запобігання перевазі противника в інформаційній складовій збройної боротьби. Це досягається використанням радіоелектронних засобів.

На сьогодні можна зазначити, що успішне вирішення завдань з радіоелектронної боротьби може визначити успіх всієї операції і навіть локальної війни чи збройного конфлікту в цілому.

Однією з важливих подій на початку двадцятого століття було виникнення та впровадження засобів радіозв'язку для військових потреб, зокрема для навігації флоту. З цього моменту можна визначити формування специфічної галузі збройної боротьби - радіоелектронної.

То що ж таке РЕБ?

Радіоелектронна боротьба (РЕБ) – це комплекс заходів та засобів, спрямованих на вплив на електромагнітне середовище противника з метою забезпечення переваг у веденні військових операцій. Вона визначається як ключовий елемент сучасної військової безпеки, оскільки забезпечує захист власної радіоелектронної системи, перешкоджає функціонуванню радіоелектронних систем противника, забезпечує отримання інформації про його радіоелектронну діяльність та можливість контролювати її.

Електромагнітне середовище виступає не лише джерелом інформації, але також полем битви, де радіоелектронна боротьба використовує електромагнітний спектр для досягнення військових цілей. Вона охоплює різні напрямки, спрямовані на захист власних радіоелектронних засобів, створення перешкод для роботи радіоелектронних систем противника, проведення розвідки його радіоелектронної діяльності та забезпечення контролю над нею. Сучасні військові використовують радіоелектронну боротьбу для отримання переваги у веденні бойових дій та впливу на електромагнітне поле ворога. Ця стратегія не лише перешкоджає роботі радіоелектронних систем противника, але й дозволяє отримувати інформацію про його радіоелектронну діяльність та забезпечує контроль над нею.

Завдання радіоелектронної боротьби включають в себе виявлення, класифікацію, локацію, ідентифікацію, оцінку, аналіз, перешкоджання, нейтралізацію або знищення радіоелектронних засобів противника.

Використання радіоелектронних засобів для військових потреб почалося в кінці XIX - на початку XX століття. У 1899 році була проведена перша радіотелеграфна передача через Ла-Манш, а в 1904 році створено перший радарний прототип. У 1914 році вже застосовували перші радіоперешкоди.

Однак справжній прорив в розвитку радіоелектронної боротьби відбувся під час Другої світової війни (1939-1945), а саме коли радіоелектронні почали масово широко використовуватися для допомоги наведення, розвідки, навігації та керування вогнем. У цей період з'явилося багато нових технологій і методів радіоелектронної боротьби:

- Радіоперешкоди на основі шумових генераторів, модульованих сигналів: Створення штучних радіосигналів для перешкоджання роботі радіосистем противника, включаючи шумові генератори, сигнали модуляції та імітацію фальшивих об'єктів.

- Радіоефективне фарбування й маскуванню кораблів і літаків: Використання спеціальних матеріалів та технологій для зменшення видимості транспортних засобів на радарах.

- Радіопеленгація й радіонаведення на джерела радіовипромінювання противника: Визначення напрямку та відстані до джерел радіосигналів противника для визначення їхньої локації.

- Радіоконтроль і радіокомандне управління льотними апаратами й керованими снарядами: Використання радіосигналів для дистанційного керування та управління польотом.

- Радіолокація й радіолокаційна розвідка: Використання радіохвиль для виявлення, визначення та класифікації об'єктів на повітряному та морському просторах.

- Радіопрослуховування й радіокриптографія: Захоплення та аналіз радіосигналів для отримання та захисту інформації, що передається по радіозв'язку, включаючи застосування методів шифрування та розшифрування.

Протягом холодної війни (1947-1991), коли СРСР і США змагалися за перевагу у володінні ядерною зброєю та ракетами, сфера радіоелектронної боротьби (РЕБ) продовжувала активний розвиток і вдосконалення. У цей період відбувався інтенсивний науковий та технічний прогрес, що включав

в себе впровадження нових технологій та методів РЕБ, таких як атомна електромагнітна імпульсна перешкода (АЕІП), антирадарні ракети (АРР), радарні контрперешкоди (РКП), електронна контррозвідка (ЕКР) та електронна підтримка (ЕП). Ці інновації виявилися ключовими для забезпечення ефективності та безпеки використання радіоелектронних засобів у суворих умовах військового протистояння.

В наш час РЕБ продовжує свій поступовий розвиток та вдосконалення, зокрема, враховуючи нові технології, такі як квантова інформатика, штучний інтелект, нанотехнології та інші. Також в останні роки з'явилися інноваційні технології радіоелектронної боротьби, серед яких варто відзначити:

- Адаптивна радарна перешкода (АРП), що може автоматично налаштовуватись на частоту та параметри сигналу радара противника, створюючи ефективний завадний сигнал;

- Стелс-технологія, яка зменшує видимість об'єкта для радарів та інших радіоелектронних засобів за рахунок його форми, матеріалів, фарбування та інших параметрів;

- Когерентна радіолокація, яка використовує когерентне випромінювання для підвищення точності та роздільності виявлення та локації цілей;

- Комп'ютерна мережева операція (КМО), яка використовує КМ для атаки, експлуатації або захисту інформаційних систем противника або третьої сторони.

Отже, як історія свідчить, радіоелектронна боротьба (РЕБ) перетворилася на невід'ємну частину воєнної стратегії, еволюціонуючи разом із змінами в технологіях та воєнних конфліктах. РЕБ включає в себе комплекс заходів і засобів, спрямованих на вплив на електромагнітне середовище противника з метою забезпечення переваги в бойових діях.

Спочатку використання радіосигналів для військових цілей датується кінцем XIX - початком XX століття. Протягом Першої світової війни вже інтенсивно створювались радіоперешкоди з метою порушення радіозв'язку між військовими частинами.

Друга світова війна ознаменувалася широким використанням радіоелектронних засобів у військових операціях. Застосовувалися радіолокаційні станції, перші операції з використанням атомної електромагнітної імпульсної перешкоди (АЕІП), а також створювались засоби стелс-технології для зменшення видимості об'єктів на радарях.

Після Другої світової війни, у період холодної війни, з'явилися нові технології, такі як атомна електромагнітна імпульсна перешкода, антирадарні ракети, радарні контрперешкоди, електронна контррозвідка і електронна підтримка.

У сучасному світі, з появою нових технологій, таких як штучний інтелект, квантова інформатика і нанотехнології, РЕБ продовжує розвиватися і вдосконалюватися. Нові технології, такі як адаптивна радарна перешкода, стелс-технологія, когерентна радіолокація і комп'ютерна мережева операція, знаходять своє застосування в радіоелектронній боротьбі, роблячи її більш ефективною і адаптованою до сучасних умов.

## 1.2 Тактико-технічні характеристики сучасних українських систем РЕБ

### Комплекс РЕБ “Буковель-AD (R4)”

Комплекс "Буковель-AD" (рис. 1.1)[1] призначений для виявлення та пригнічення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) противника в ранніх стадіях. Він оперує наземною станцією, обладнаною пасивними модулями виявлення і управління, що не лише блокує сигнали GPS / ГЛОНАСС, Galileo і Beidou, але й генерує помилкові сигнали для ефективного пригнічення. Остання версія "Буковель-AD" відзначається розширеним частотним діапазоном і здатністю встановлювати більше перешкод одночасно. Комплекс може виявляти невеликі БПЛА, такі як російський Орлан-10, на відстані до 70 км і пригнічувати їх управління на відстані до 20 км. Крім того, "Буковель-AD" здатний боротися з іншими засобами електронної боротьби, пригнічувати радіолокаційні станції і системи зв'язку. Завдяки пригніченню супутникових сигналів, він може ефективно протистояти техніці, що використовує системи позиціонування за допомогою супутників. Комплекс може бути швидко розгорнутий за 2 хвилини, і його невелика маса (257 кг) дозволяє вбудовувати його у цивільні пікапи для різноманітних застосувань. Тактико-технічні характеристики представлені в таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 – комплекс РЕБ “Буковель-AD” [1]



Таблиця 1.1 – Тактико-технічні характеристики комплексу "Буковель-AD"

Виявлення радіочастотних діапазонів	320-6000MHz
Дальність виявлення	3-50 км
Екіпаж	1
Ефективна дальність пригнічення	Більше 3-4 км
Кількість одночасно пригнічених каналів	7
Погодні умови	Всі
Пригнічення DataLink UAV-GS	так
Пригнічення GNSS	так
Пригнічення радіочастотних діапазонів	320-6000MHz
Тип БПЛА	Будь-який
Транспортно-бойова позиція	Стаціонарне застосування

#### Комплекс РЕБ "Анклав"

«Анклав» - це серія українських комплексів радіоелектронної боротьби, призначених для протидії безпілотним літальним апаратам. Розроблено компанією "Укрспецтехніка".

До 2014 року холдинг "Укрспецтехніка" розпочав розробку комплексу "Анклав", спрямованого на створення завод для приймачів систем ГЛОНАСС та GPS. Однак після початку російської агресії у 2014 році, комплекс пройшов модернізацію, отримавши здатність створювати заводи для каналів управління та телеметрії, використовуваних у безпілотних літальних апаратах (БПЛА).

Перші екземпляри комплексу "Анклав-УТ" були передані Збройними Силами в 2016 році. У грудні 2016 року ці комплекси, а саме "Буковель-AD" і "Анклав-УТ", пройшли випробування в зоні бойових дій на Донбасі.

У 2017 році оновлений "Анклав" успішно пройшов випробування відомчих структур і далі активно використовувався за призначенням в зоні проведення Операції об'єднаних сил на сході України.

#### Комплекс РЕБ "SURICATTA"

Комплекс "SURICATTA"[5] відноситься до засобів радіоелектронної боротьби. Згідно з зарубіжною класифікацією, "SURICATTA" відноситься до систем протиповітряної оборони від безпілотних літальних апаратів. Тактико-технічні характеристики представлені в таблиці 1.2. Набір призначений для запобігання виконанню різних завдань безпілотними повітряними засобами (БПЛА) шляхом заглушення:

- каналу контролю та моніторингу БПЛА;
- телеметричного каналу від БПЛА;
- каналу передачі відеоінформації в режимі реального часу від БПЛА;
- каналів супутникового позиціонування GPS та GLONASS;
- генерації сигналів імітації GPS/GLONAS.

Набір РЕБ служить:

- для протидії ворожим БПЛА в зоні бойових дій;
- для захисту повітряного простору важливих об'єктів держави від БПЛА;
- для припинення діяльності контрабанди з використанням БПЛА на державному кордоні.

Набір РЕБ складається з таких частин:

- модуля виявлення радіосигналів;
- модуля моніторингу та управління;
- модуля заглушення;
- робочої станції керування;
- системи живлення;
- транспортної бази, автомобіля.

Таблиця 1.2 – Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ "SURICATTA"

Виявлення радіочастотних діапазонів	390-6150 MHz
Кількість одночасно пригнічених каналів	7
Кількість одночасно пригнічених каналів спрямованих за частотою	3
Дальність виявлення	25 км
Ефективна дальність пригнічення	15 км
Частотний діапазон роботи блоку виявлення	390-2700 MHz
Канали зв'язку для керування модулями комплекту	10/100 BaseT Ethernet
Використані частоти	UHF1, UHF2, L2, GNSS, L3, S, C

### Анти-дрон рушниця Kvertus "KVS ANTIDONE G-6"

Портативна система глушіння дронів ANTIDRON (KVS G-6) (рис. 1.2)[2] володіє діапазоном дії до 3500 метрів, здатністю приглушувати сигнали на 6 різних частотах і працює від мережі з напругою від 100 до 240 В, або від вбудованого акумулятора протягом до 40 хвилин. Призначений для блокування основних частот управління та передачі відеосигналу всіх популярних марок дронів. Глушилка дронів блокує всі види передачі відео та аудіоінформації.

Технічні характеристики глушилки дронів Kvertus KVS ANTIDRON G-6 включають:

- Глушіння частот радіокерування та відеопередачі 2.4G (Wi-Fi 2400-2500 МГц) з потужністю 20 Вт.
- Глушіння частот радіокерування та відеопередачі 5.8G (5.5-5.9 МГц) з потужністю 10 Вт.
- Глушіння частот радіокерування 868 МГц (860-920 МГц) з потужністю 10 Вт.
- Глушіння частот радіокерування 433 МГц (433-434 МГц) з потужністю 10 Вт.

- Глушіння частот навігації GPS L1 (+ Glonass 1575-1620 МГц) з потужністю 20 Вт.
- Глушіння частот навігації GPS L2 (1227 МГц) з потужністю 10 Вт.
- Радіус приглушення 3500 метрів.
- Загальна потужність 70 Вт.
- Вбудована система охолодження.
- Діскові антени, спрямовані, посиленої дії.
- Вбудований акумулятор, час автономної роботи 40 хвилин.
- Живлення від мережі АС100-240V (блок живлення в комплекті).
- Розміри 930x280x70 мм.
- Маса комплекту 6 кг (з батареєю).



Рисунок 1.2 – Анти-дрон рушниця Kvertus KVS ANTIDONE G-6[2]

Анти-дрон рушниця “Піранья – 5 РАДК”

Анти-дрон рушниця “Піранья – 5 РАДК” (рис. 1.3)[3] - портативний 5-канальний джаммер. Може використовуватися як із всеспрямованими, так із спрямованими антенами, встановленими на гвинтівковій установці.

Призначений для пригнічення сигналів від 20МГц до 6000МГц.

Тактико-технічні характеристики представлені в таблиці 1.3.

Особливості:

- Широкий діапазон частот
- Одночасне охоплення кількох радіусів дії дронів;
- Просте інтуїтивно зрозуміле управління
- КСВ та тепловий захист
- Невеликі розміри та вага

Таблиця 1.3 – Тактико-технічні характеристики анти-дрон рушниці “Піранья – 5 РАДК”

Частота діапазони	Частота	Вихід потужність (1дБм)
	428-438 МГц	44 дБм
	902-928 МГц	43 дБм
	1560-1610 МГц	44 дБм
	2,4-2,5 ГГц	44 дБм
	5,15-5,8 ГГц	40 дБм
Антени	5 всеспрямованих антен, 3 спрямованих антени	
Тип	Направлені або ж всеспрямовані	
Корпус	Метал / пластик - комбінований	
Захист	КСВ, перегрів	
Контроль панель	Увімк / вимк діапазони , АКБ індикація	
Вага	База із спрямованими антенами: не більше 5 кг Рюкзак у комплекті: не більше 15 кг	
Габаритні розміри	45*35*20см (типовий розмір може відрізнятись)	

Продовження таблиці 1.3

	для різних модифікацій
--	------------------------

Колір	Чорний
Споживання	До 500 Вт залежить від конфігурації
Батарея	Час роботи 120 хв
Зарядний пристрій	Повна зарядка 5 годин
Умови з використання	-10° С... +40° С, IP54



Рисунок 1.3 – Анти-дрон рушниця “Піранья – 5 РАДК”[3]

Комплекс РЕБ “Піранья - Купол”

Комплекс РЕБ «Піранья – Купол»[3] призначений для формування захисного поля на 360 градусів до 600 м (рис. 1.4).

Потужність такого комплексу 200Вт

Канали які може придушувати комплекс:

– 860-960MHz

- 1160-1300MHz (GPS L2,L5 GLONAS G2,G3 BAIDOW B2,B3 GALILEO E5,E6)
- 1550-1630MHz (GPS L1 GLONAS G1 BAIDOW B1 GALILEO E1)
- 2400-2500MHz
- 5150-5850MHz



Рисунок 1.4 – Комплекс РЕБ “Піранья – Купол”[3]

### 1.3 Тактико-технічні характеристики російських систем РЕБ

#### Комплекс РЕБ “Красуха-4”

"Красуха-4" (1РЛ257 "Красуха-4")[4] (рис. 1.5) - це комплекс радіоелектронної боротьби (РЕБ) дальнього дії. Призначений для протидії ударній та розвідувальній авіації противника, забезпечення прикриття наземних військ, а також важливих інфраструктурних і військових об'єктів від радіолокаційного виявлення шляхом впливу на наземні радіолокаційні станції (РЛС) та РЛС літальних апаратів (ЛА) різних типів (тактична авіація), що призводить до їх виведення з ладу. Ускладнює нанесення точних ударів, проведення розвідки, польоти на максимально маленьких висотах, змушуючи ЛА займати вищі ешелони, що сприяє їх потраплянню в зону дії засобів протиповітряної оборони (ПВО).



Рисунок 1.5 – Комплекс РЕБ “Красуха - 4”[4]

Комплекс РЕБ 1РЛ257 "Красуха-4" забезпечує захист засобів протиповітряної оборони, командних пунктів, вилівних комплексів ракет



стратегічного призначення, аеродромів, промислових і адміністративних об'єктів.

Принцип дії полягає в виявленні джерел сигналів бойової техніки противника, аналізі типу сигналу РЛС і наступному впливі на РЛС шумовим випромінюванням.

Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ "Красуха-4" представлені в таблиці 1.4

Комплекс РЕБ 1РЛ257 "Красуха-4" може пригнічувати:

- РЛС обзору з поверхні землі;
- РЛС розвідувально-ударних комплексів;
- РЛС управління озброєнням класу "земля – повітря", "повітря – повітря";
- багатофункціональні РЛС;
- функціонування апаратури літаків дальнього радіолокаційного спостереження і управління (типу АВАКС) та літаків-розвідників Е-8 JSTARS;
- бортові РЛС розвідувальних супутників;
- космічну апаратуру в системах ракетного наведення.

Ефективний проти крилатих ракет, безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Виявлення цілей відбувається в пасивному режимі, що забезпечує прихованість бойової роботи комплексу.

Використання широкосмугового модуля активних перешкод комплексу дозволяє заглушувати сигнали різноманітних сучасних радіолокаційних станцій (РЛС), а також надійно фальсифікувати їх, спотворюючи або створюючи фальшиві цілі. Це дозволяє маніпулювати радіоканалами безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та випущеними супротивником ракетами. Так, викликана впливом комплексу помилка у налаштуваннях висоти польоту крилатих ракет може призвести до їх падіння, а вплив на апаратуру літаків типу АВАКС може призвести до втрат

можливостей розпізнавання за принципом "свій"/"чужий" і, відповідно, атаки на власні об'єкти або випуску високоточного боєприпасу "в порожнє".

Таблиця 1.4 – Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ "Красуха-4"

Робочий діапазон частот	8,0 - 18,0 ГГц
Вихідна потужність	Від 50 до 64 дБ
Дальність дій	До 300 км
Час безперебійної роботи	24 год
Споживання	30 кВт

#### Комплекс РЕБ "Р-330Ж Житель"

Р-330Ж "Житель"[4] (рис. 1.6) - це автоматизована станція створення перешкод, розроблена Акціонерним товариством Науково-виробничий підприємство "Протек".



Рисунок 1.6 – Комплекс РЕБ "Р-330Ж Житель"[4]

Система Р-330Ж прийнята на озброєння Збройних Сил Російської Федерації. За заявами виробника, система пройшла випробування в бойових умовах. Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ Р-330Ж "Житель" представлені в таблиці 1.5

Автоматизована станція перешкод Р-330Ж "Житель" виконує ряд важливих завдань:

– Станція автоматизовано визначає, пеленгує та аналізує сигнали в радіочастотному діапазоні, забезпечуючи також можливість генерації радіоперешкод для різноманітних наземних станцій, абонентських терміналів супутникових систем "ІНМАРСАТ" і "ІРИДІУМ", а також обладнання навігації користувачів системи "НАВСТАР" (GPS) та базових станцій мобільних комунікацій GSM-900/1800.

– Станція автоматично взаємодіє та обмінюється інформацією з подібними системами для синхронізованого пеленгування джерел радіовипромінювання, з метою визначення їхніх координат. Також вона здійснює телекодовий інформаційний обмін з центральним пунктом управління для отримання завдань щодо проведення бойових операцій і подає звіти про результати виконаної роботи.

– Станція Р-330Ж автоматично тестує апаратуру та виявляє несправні елементи. Також веде картографічні дані, відображаючи інформацію про розвідані джерела радіовипромінювання на електронній топографічній карті місцевості або в сітці прямокутних координат.

– Щодо способів використання, станцію можна використовувати автономно, у з'єднаній парі з аналогічним виробом, діючи як ведуча або ведена станція. Також, вона може працювати як автономна станція або в парі під управлінням пункту управління типу Р-330КМА

Таблиця 1.5 – Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ Р-330Ж "Житель"

Робочий діапазон частот	800-960;1227,6;1575,42;1500-1700; 1700-1900 МГц
Дальність дії	50 км

Продовження таблиці 1.5

Час безперебійної роботи	24 год
Споживання	2.5 кВт

### Анти-дрон рушниця “REX-2”

Анти-дрон рушниця “REX-2”[6] (рис 1.7) - мобільний комплекс для боротьби з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) пригнічує канали управління та передачі даних між оператором і дроном, а також супутникову навігацію. Тактико-технічні характеристики анти-дрон рушниці “REX-2” представлені в таблиці 1.6

#### Переваги:

- Модульна конструкція дозволяє модернізувати та вдосконалювати пристрій.
- Найлегший і компактний комплекс пригнічення в своєму класі.
- Активація за допомогою натискання однієї кнопки.
- Безпечність застосування для здоров'я людини.
- Міцність та довговічність завдяки алюмінієвому корпусу.
- Можливість встановлення додаткових модулів пригнічення за запитом замовника.
- Ергономічний дизайн та трьохточковий ремінь забезпечують максимальний комфорт використання.

Таблиця 1.6 – Тактико-технічні характеристики анти-дрон рушниці “REX-2”

Діапазон частот	2,4 ГГц і 5,8 ГГц
Модуль подавлення СНС	GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou
Маса	3,8 кг
Час безперебійної роботи	2 год
Дальність дії	0,5 км



Рисунок 1.7 – Анти-дрон рушниця “REX - 2”[6]

#### Комплекс РЕБ “Suspan-Convoy”

Комплекс РЕБ "Suspan-Convoy" - це мобільна багатофункціональна система, призначена для протидії безпілотним літальним апаратам за допомогою виявлення та блокування каналів управління та приймачів сигналів навігаційних систем GNSS. Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ "Suspan-Convoy" представлені в таблиці 1.7.

#### Конфігурація:

- Підсистема радіовиявлення.
- Підсистема радіовиявлення, ідентифікації та цільового перешкоджання управлінським каналам БПЛА та його приймачам сигналів систем GNSS.
- Оптико-електронна служба спостереження.
- Допоміжні підсистеми (геолокація, навігація, дистанційне керування даними та зв'язок, живлення).

Система призначена для постійного радіовиявлення, виявлення сигналів безпілотних літальних апаратів (БПЛА), ідентифікації та генерації контрдійових сигналів у захищеній зоні, зокрема:

- Виявлення та ідентифікація сигналів БПЛА;

- виявлення та ідентифікація сигналів БПЛА, що керуються за допомогою протоколу Wi-Fi (IEEE 802.11);
- генерація та випромінювання сигналів для контрдії до супутникових навігаційних каналів БПЛА;
- генерація та випромінювання сигналів для контрдії до керуючих каналів БПЛА.

Залежно від умов експлуатації підсистема забезпечує наступне:

- установка на позашляховому шасі для виконання завдань;
- швидке розгортання підсистеми завдяки модульній структурі та обмеженій кількості з'єднуючих кабелів;
- можливість використання в міському та польовому середовищі.

Таблиця 1.7 – Тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ "Suspan-Convoy"

Діапазон частот	400-6000 МГц
Дальність виявлення БПЛА потужністю 0.1 Вт	5 км
Дальність виявлення БПЛА потужністю не менше 1 Вт	25 км
Дальність пригнічення сигналу БПЛА потужністю 0.1 Вт	4 км
Дальність пригнічення сигналу БПЛА потужністю не менше 1 Вт	25 км

#### 1.4 Призначення БПЛА

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) – це літальний апарат типу літака або вертольота без екіпажу на борту, чий політ виконується за задалегідь заданою програмою на борту або з використанням віддаленого управління через зв'язок.

На сучасному етапі розвитку БПЛА призначені для вирішення різноманітних завдань, таких як спостереження (розвідка), завдання ударів, транспортування вантажів, вказівки цілей для інших засобів поразки, ретрансляція даних і т. д. за дистанційним керуванням оператора або шляхом автономних дій за заздалегідь заданою програмою.

Основні завдання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) включають:

- БПЛА активно залучаються до проведення спостережень і розвідки, надаючи оперативну інформацію в реальному часі;
- Вони можуть використовуватися для нанесення ударів по цілях на землі чи на поверхні води, як самостійно, так і спільно з іншими системами зброї;
- БПЛА можуть створювати радіоелектронні перешкоди з метою ускладнення роботи електронних систем противника;
- Вони використовуються для передачі вказівок та корекції іншим системам зброї для максимально ефективного впливу на ціль;
- БПЛА використовуються для транспортування вантажів та засобів у визначений район застосування;
- Вони можуть виконувати роль ретрансляторів для передачі даних між віддаленими абонентами у мережах зв'язку;
- Здатність відволікати увагу противника чи імітувати фальшиві повітряні цілі робить їх ефективними в тактичних сценаріях.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають численні переваги, які ускладнюють їх виявлення та протидію :

- БПЛА можуть виконувати завдання на значній відстані від оператора, що дозволяє отримувати оперативну інформацію майже в реальному часі;

- Застосування різноманітних цільових навантажень, таких як радіолокаційні станції, засоби розвідки та бойові частини, ускладнює завдання виявлення;
- Здатність БПЛА тривало перебувати в зоні бойових дій та надавати підтримку в режимі реального часу;
- Менші розміри та маса БПЛА роблять їх менш помітними в радіолокаційному та оптичному діапазонах. Вони здатні виконувати маневри з високими перевантаженнями та летіти на низьких висотах та швидкостях;
- Зменшення ймовірності ураження снарядами зенітної артилерії завдяки їхнім малим геометричним розмірам;
- Висока прихованість БПЛА за рахунок безшумності двигунів та можливості виконувати польоти в режимі "радіомовчання".

Отже, БПЛА (беспілотні літальні апарати) в сучасному світі використовуються для вирішення різноманітних завдань, таких як спостереження, удари по цілях, транспортування вантажів та інші, виконуючи їх за допомогою заздалегідь програмованих маршрутів або віддаленого керування. Однією з головних переваг є можливість виконання завдань на відстані від оператора, а також використання широкого спектру цільових навантажень. БПЛА володіють низькою помітністю в різних діапазонах, можливістю тривалого перебування в зоні бойових дій та використання різних маневрів. Це робить їх важкими для виявлення та протидії, що робить їх ефективними засобами для вирішення військових та розвідувальних завдань.

### 1.5 Класифікація БПЛА

При вивченні завдання протидії беспілотникам (БПЛА) важливо класифікувати їх за масо-габаритними характеристиками, швидкістю, а



також за призначенням та застосуванням. На сьогоднішній день існує кілька класифікацій БПЛА за масо-габаритними характеристиками та швидкістю.

Американська класифікація БПЛА[8] представлена у таблиці 1.8

Класифікація БПЛА за STANAG 4670[9]представлені в таблиці 1.9

Таблиця 1.8 – Американська класифікація БПЛА[9]

Класифікаційний тип	Маса, кг	Висота польоту, км	Швидкість, км/год	Приклад
I	0-9	До 0,365	До 185	RQ-11 Raven, RQ-20 Puma, Wasp III, RQ-16 T-Hawk
II	9,5-25	До 1,07	До 460	ScanEagle
III	Менше 600	До 5,5	Не визначено	RQ-2 Pioneer, RQ-5 Hunter, RQ-7 Shadow, RQ-21 Blackjack
IV	Більше 600	До 5,5	Не визначено	RQ-1/MQ-1 Predator, MQ-1C Grey Eagle, X-47, YMQ-18 Hummingbird, MQ-8 Fire Scout
V	Більше 600	Вище 5,5	Не визначено	RQ-4 Global Hawk, MQ-9 Reaper

Таблиця 1.9 – Класифікація БПЛА за STANAG 4670[8]

Клас	Категорія	Рівень воєних дій	Висота застосування	Радіус дії	Приклад платформи
Клас III (>600 кг)	ударні	стратегічний	До 20 км	необмежений	Reaper

	HALE	стратегічний	До 20 км	необмежений	Global Hawk
	MALE	оперативний	До 14 км	необмежений	Bayraktar TB2
Клас II (150-600 кг)	тактичний	тактичний	До 5.5 км	До 200 км	Hermes 450
Клас I (<150 кг)	Малі (>15 кг)	Тактичне формування	До 1.5 км	До 50 км	Scan Eagle
	Міні (<15 кг)	Тактичний підрозділ	До 900 м	До 25 км	Skylark
	Мікро (< 2 кг)	Тактичний підрозділ	До 60 м	До 5 км	Black Window

Класифікація БПЛА за призначенням представлені на рис. 1.8[10]

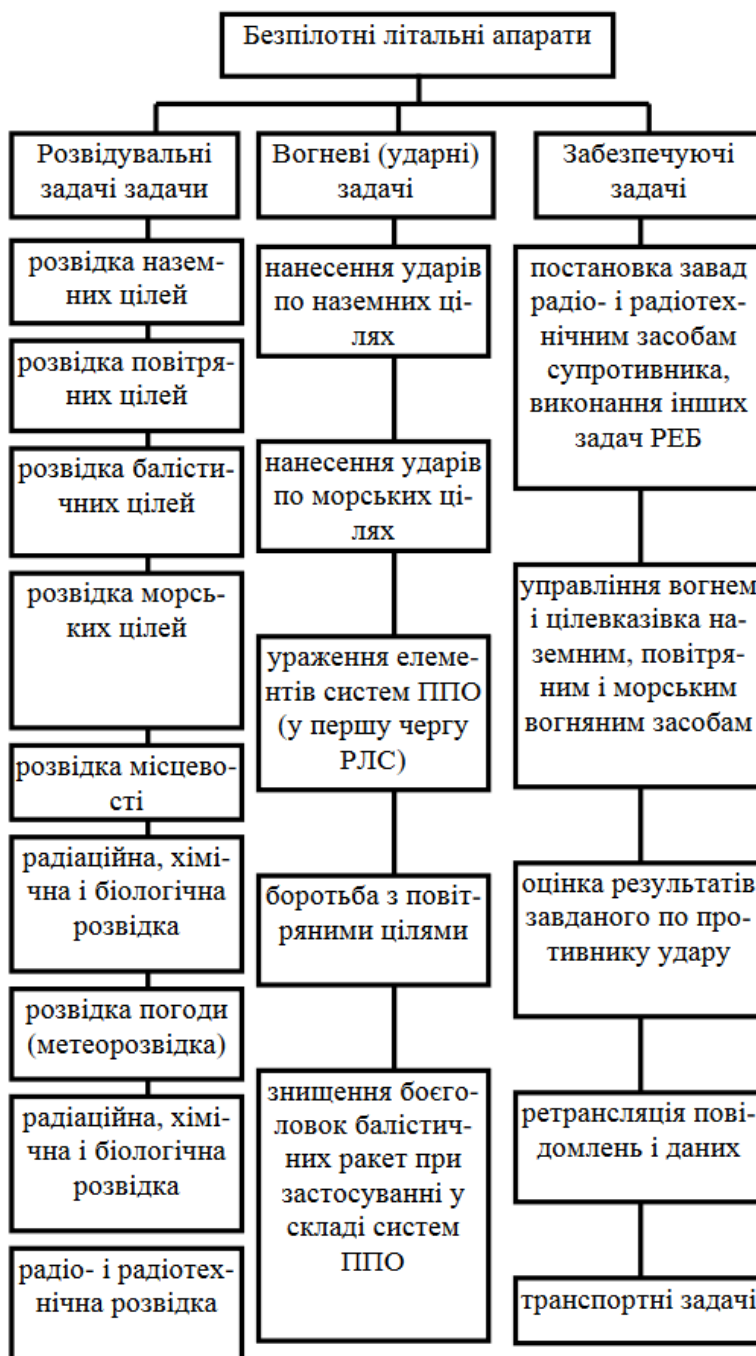


Рисунок 1.8 – Класифікація БПЛА за призначенням

## 1.6 Двигун БПЛА

Зазвичай двигунова установка малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) типу літака складається з турбовітрового двигуна, який

узагальнено відповідає двигуновій установці пілотованих літальних апаратів .

Однак в останні роки малі БПЛА вертолітного типу, відомі як "мультикоптери", "квадрокоптери", "дрони", отримали широке поширення. Для цих БПЛА характерне використання установки принципово іншого типу, заснованої на використанні 4, 6 або більше двигунів.

Для двигунів малих БПЛА вертолітного типу використовують два типи :

- колекторні - обмотки розташовані на роторі ;
- безколекторні - обмотки розташовані на статорі .

Безщиткові двигуни (BLDC-двигуни) не використовують щіток і колекторів та, за умови наявності якісних підшипників, вимагають мінімального технічного обслуговування. Ротор безщиткових двигунів виготовляється з постійного магніту і не має обмоток. Статор містить обмотки, змінне поле яких призводить до обертання ротора .

Управління двигунами здійснюється за допомогою задання напрямку та швидкості обертання гвинтів через підключені до них електронні регулятори швидкості ESC (електричний регулятор швидкості). На вхід регуляторів подається напруга з акумулятора та сигнали управління з мікроконтролера, на вихід регулятор передає напругу для приводу .

Збільшення кількості обертів гвинтів за одиницю часу визначає підйом, зменшення - опускання. Збільшення обертів двох бічних гвинтів задає крен, а передніх чи задніх - тангаж з подальшим рухом у бік чи підняттям/опусканням на косі відповідно, а гвинтів, розташованих на одній з косих осей - обертання апарата вліво або вправо (рискання). Для стабілізації руху одна пара гвинтів завжди обертається за годинниковою стрілкою, інша - проти (рис. 1.9), компенсуючи крутний момент.

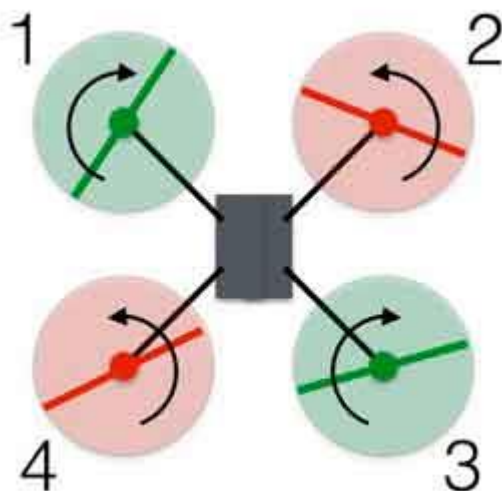


Рисунок 1.9 – Оберти гвинтів на малих БПЛА вертолітного типу

### 1.7 Система управління

Систему управління БПЛА можна розділити за методами управління на наступні категорії:

- автономні;
- напіваавтономні;
- керовані.

Вибір методу управління залежить від складності та конкретності завдань, які стоять перед БПЛА. Зазвичай, система управління великих БПЛА літакового типу в основних принципах відповідає системам управління пілотованими літаками, тоді як у малих БПЛА використовується ієрархічна трьохрівнева структура системи управління:

- нижчий рівень - рівень окремих пристроїв, механізмів, датчиків та обладнання;
- середній рівень - рівень управління процесами польотного контролера, модулів введення-виведення сигналів та комутаційного обладнання;

– верхній рівень - рівень диспетчеризації та адміністрування БПЛА, що забезпечує взаємодію між оператором чи програмою польоту через інтерфейс із контролерами середнього рівня.

На нижньому рівні управління створюється двигунною установкою, навігаційною системою (детально розглянута нижче), обладнанням корисного навантаження: оптико-електронні засоби (ОЕЗ), радіолокаційні станції (РЛС), різноманітні інші радіоелектронні засоби (РЕЗ) і т.д..

Середній рівень відповідає апаратно-програмним засобам управління на борту. Бортова система управління малими БПЛА формується на основі бортових цифрових обчислювальних машин (БЦВМ), які, як правило, керуються відкритими операційними системами (ОС), такими як Linux, Android і т.д., або спеціалізованими ОС реального часу, такими як QNX, VME, VxWorks, XOberon і т.д. Крім того, в останній час з'явилися різні проекти з створення ОС та застосункового програмного забезпечення (ПЗ), спеціально орієнтованих на БПЛА.

В маленьких безпілотних літальних апаратах (БПЛА) може використовуватися цифрові сигнальні процесори або мікроконтролери (MicroPC), які програмуються мовами високого рівня, такими як C, C++, Modula-2, Oberon SA або Ada95, а також програмні пакети SCADA, яке призначене для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем моніторингу або управління. Крім того, для управління малими БПЛА можуть використовуватися спеціальні польотні контролери FCU (Flight Control Unit), які формують команди для мікроконтролерів, що керують двигунами та окремими підсистемами БПЛА, відповідно до даних, які надходять через командний радіоканал управління (КРУ).

Останнім часом три провідних виробника мікроелектроніки - Qualcomm, Intel і Nvidia - випустили власні типові схемо-технічні рішення для систем управління БПЛА. Крім того, аналогічне рішення представив

один з провідних китайських виробників мікроелектроніки - Leadcore.

Кожен комплект є типовим рішенням, яке включає в себе:

- центральний процесор управління CPU (Central Processing Unit);
- бортову ОЕЗ;
- GPU графічний процесор (Graphics Processing Unit) обробки відеоданих, що надходять від бортової ОЕЗ;
- систему зв'язку на основі технології Wi-Fi.

Характеристики цих схемо-технічних рішень подані в таблиці 1.10

Таблиця 1.10 - Характеристика схемо-технічних рішень.

Виробник/ тех. рішення	Qualcomm Snapdragon Flight	Intel Edison for Arduino	Nvidia Jetson TX1	Leadcore LC1860
CPU	4×Qualcomm Krait 400	22 нм dual- core Intel Atom	64-bit ARM A57 core	6-core Cortex A7
Частота CPU	2,5 ГГц	500 МГц	2 ГГц	2 ГГц
GPU	Qualcomm Adreno 330	Intel HD Graphic	Maxwell architecture, 256 CUDA cores	Dual-core Mali T628
Продуктивні сть GPU	167 GFLOPs	-	1 TeraFLOPs	-
Споживання енергії	-	35 мВт	Менше 10 Вт	-
Система Wi-Fi і Bluetooth	є	є	є	є
Розширення камери	4096×2160	Не менше 1280×720	4096×2160	2048×1080

Продовження таблиці 1.10

Розмір	58 мм × 40 мм	127 мм × 72 мм	87 мм × 50 мм	41 мм × 61,5 мм
Переваги	Збалансоване рішення по критерію	Взаємодія з зовнішніми датчиками,	Висока продуктивніс ть в багато-	Низька ціна

	“продуктивність/ціна”	висока точність і широкий діапазон застосування	поточних задачах	
Недоліки	Обмежений діапазон застосування	Високе енергоспоживання	Високе енергоспоживання і ціна	Низька продуктивність
Переваги для БПЛА	Енергоефективне рішення для управління БПЛА	Висока продуктивність	Рішення для управління БПЛА з можливістю використання технології машинного зору і ШІ	збалансоване рішення по критерію “ефективність/ціна”

На верхньому рівні управління відбувається взаємодія архітектури "БПЛА – ПУ" (або "група БПЛА – ПУ") та формується телеметрична система збору даних про стан бортових систем БПЛА, систему зв'язку БПЛА та пункту управління (ПУ), а також обладнанням ПУ. Обладнання ПУ обробляє телеметричні дані про стан БПЛА та його місцезнаходження, формує програму польотів та видає команди на борт БПЛА.

На цьому рівні критично важливі технічні характеристики системи зв'язку для вирішення завдань протидії БПЛА, які будуть детально розглянуті нижче.

Важливо зауважити, що для більшості БПЛА основні функції у прийнятті рішень реалізуються не на борту, а на ПУ оператора. Це включає в себе рішення щодо профілю польоту, альтернативних варіантів досягнення поставленої мети, обробку даних, що надходять від бортового обладнання. Однак розвиток теорії штучного інтелекту (ШІ), теорії управління групами БПЛА та підвищення можливостей обчислювальних засобів призвели до того, що з'явилися проекти, спрямовані на кардинальне підвищення автономії та "інтелектуальності" управління БПЛА. Такі



проекти мають на меті створення програмного забезпечення та бібліотек з відкритим вихідним кодом у сфері машинного зору та штучного інтелекту, що безпосередньо визначає напрямки подальшого розвитку БПЛА.

### 1.8 Навігаційна система

Навігаційна система БПЛА може мати різний рівень складності та для визначення місцезнаходження БПЛА може враховувати кілька сигналів, що надходять від датчиків різної фізичної природи.

В залежності від розміру та складності завдань, які має вирішити безпілотний літальний апарат (БПЛА), використовуються різні варіанти навігаційних систем.

Найпростіший варіант - це навігаційна система, що базується лише на обладнанні споживачів (АП) найбільш поширених супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). Цей підхід характерний для дуже простих малих БПЛА-квадрокоптерів.

Для широкого спектру професійних малих БПЛА, зокрема квадрокоптерів, використовується проста інтегрована навігаційна система. Вона базується на комбінуванні даних від мікромеханічних інерціальних навігаційних систем (ІНС) та автоматичних позиційних систем супутникового радіонавігаційного сервісу (АП СРНС).

Для професійних малих та середніх БПЛА характерна інтегрована навігаційна система, що базується на комплексуванні даних кількох навігаційних пристроїв. Цей комплекс включає в себе мікромеханічні ІНС, АП СРНС, барометричний висотомір, а також радіо- або лазерний висотомір.

Для важких малих БПЛА характерна інтегрована навігаційна система, яка базується на даних кількох навігаційних пристроїв, таких як авіаційні ІНС, АП СРНС, висотоміри (барометричний та радіо), радіотехнічна

система ближньої навігації (РСБН) VOR/DME, та система автоматичного залежного спостереження-мовлення.

Навігаційна система першого типу широко використовується на більшості невеликих безпілотників-квадрокоптерів. Ця система включає антени приймачів, які призначені для прийому сигналів однієї або кількох систем супутникового радіонавігаційного сервісу (СРНС). Серед найпоширеніших систем СРНС варто відзначити: ГЛОНАСС (Росія), GPS/NAVSTAR (США), Beidou (Китай), Galileo (ЄС). Сигнали від СРНС генеруються на літерних частотах у діапазоні 1,1-1,6 ГГц. Зазвичай прості навігаційні системи, які встановлюються на малих БПЛА, використовують інтегрований режим обробки сигналів від декількох СРНС, що гарантує точність навігації на рівні 1-2,5 м як у горизонтальній площині, так і по висоті.

Складні безпілотні літальні апарати, представлені у сфері професійного використання, зазвичай обладнані навігаційною системою другого або третього типу. У цій системі використовуються не лише антени приймачів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС), але й компоненти автономної навігаційної системи, такі як мікромеханічні акселерометри та гіроскопи. Проте ця автономна інерціальна навігаційна система (ІНС) не може самостійно визначати маршрут без коригування за допомогою сигналів СРНС, оскільки стикається зі значними дрейфами гіроскопічних датчиків. У відсутності коригуючих сигналів СРНС, ІНС може накопичувати похибку, що становить до 3 м по горизонталі та 2 м по вертикалі за 1 хвилину. Такі ІНС можуть забезпечувати задовільну точність польотів на рівні 100-150 м протягом не більше 10 хвилин, зазвичай у режимі прямолінійного польоту без маневрів та прискорень.

Отже, на теперішній момент розвитку навігаційних систем для малих БПЛА найефективнішим є використання сигналів СРНС для обчислення шляху з необхідною точністю. А саме встановлення барометра і лазерного

висотоміра як додатковий метод, спрямований на підвищення автономності та точності навігаційних систем. Це устаткування дозволяє підвищити точність визначення координат шляхом використання додаткових каналів комплексування навігаційних даних та створювати профілі автономного польоту за допомогою електронних карт місцевості, які містять барометричні дані або висотні профілі.

У середніх і важких БПЛА, в основному, використовуються навігаційні системи четвертого типу, які базуються на авіаційних ІНС з лазерними або волоконно-оптичними гіроскопами. Проте їх велика маса, яка становить від 8 кг, робить їх використання на малих та середніх БПЛА складним. Ці ІНС в середньому забезпечують точність обчислення шляху приблизно 1,85 км за 1 год польоту. Отримана інформація з інших джерел, таких як антени приймачів СРНС, висотоміри, РСБН, АЗН-В, використовується в ролі додаткової і піддавана верифікації та комплексуванню для корекції показань ІНС.

Важливо зазначити, що швидкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) призводить до вдосконалення їх навігаційного забезпечення. До напрямків такого вдосконалення відносяться наступні:

- Використання для підвищення точності навігації багатопозиційних місцевих радіотехнічних систем ближньої навігації (РСБН) або систем-імітаторів сигналів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). При цьому станції цих систем можуть бути мобільними, розташованими на автомобілях, і розгортатися заздалегідь в зоні планованого використання БПЛА.

- Використання для навігації електронних карт місцевості, політ по яким здійснюється згідно з даними радіо- або лазерного висотоміра, радіолокаційної станції (РЛС) чи оптико-електронних систем видимого діапазону.

– Використання для навігації різних автономних систем технічного зору, а також технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), є важливим етапом в розвитку навігаційних можливостей безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Технологія SLAM дозволяє апаратам автоматично та одночасно створювати карту невідомого простору та визначати своє поточне місцезнаходження, не маючи попередньої інформації про середовище.

– Прямолінійний автономний політ безпілотного літального апарата (БПЛА) відбувається в напрямку до цілі, яка освітлюється зовнішнім джерелом випромінювання.

### 1.9 Система радіозв'язку

Система комунікації БПЛА включає різноманітні канали, які передають дані різних типів, рівнів важливості, обсягів та рівнів криптозахисту.

Для управління та обміну даними з БПЛА формуються наступні напрямки зв'язку:

– Напрямок "вгору" – передача команд від ПУ до БПЛА, включаючи команди для управління БПЛА та спеціальним обладнанням;

– Напрямок "вниз" - включає передачу телеметричної інформації (ТМІ) від безпілотного літального апарата (БПЛА) до пункту управління. Ця передача охоплює інформацію про стан підсистем БПЛА та спеціального обладнання, а також повідомлення про виконання команд управління. Високошвидкісна передача даних також здійснюється від спеціального обладнання та технічних засобів корисного навантаження на БПЛА.

Зв'язок, який був описаний раніше, може бути впорядкованим у різних частотних діапазонах та використовувати різні режими з

ретрансляцією чи без неї. Крім того, використовуються різні сигнально-кодові конструкції, які спеціально адаптовані під тип та важливість переданих даних.

Для організації командно-розвідувального управління (КРУ) та високошвидкісного передавання телеметрії та даних на наземний пункт управління (ПУ), використовуються різні частотні діапазони, такі як УКВ (220-400 МГц), L (1,4-1,85 ГГц), S (2,2-2,5 ГГц), C (4,4-5,85 ГГц) та Ku (15,15-15,35 / 14,4-14,83 ГГц). Зв'язок встановлюється в межах прямої видимості, і для довгодистанційного зв'язку можуть використовуватися БПЛА-ретранслятори та системи супутникового зв'язку (ССЗ). У простих малих БПЛА також можуть використовуватися засоби доступу до мереж мобільних операторів зв'язку 2G...4G, а також стандартні технології радіозв'язку, такі як RC433 (433 МГц), RC868 (868-916 МГц) та інші.

У випадку, коли команди управління через КРУ не надходять, БПЛА переходить у режим автономного польоту. У цьому режимі БПЛА може виконувати прості програми, такі як "повернення", "прямолінійний політ", "баражування", а також більш складні програми автономного польоту, що ґрунтуються на завчасно визначених електронних картах місцевості та даних від навігаційної системи.

## 2 ВИЯВЛЕННЯ БПЛА

### 2.1 Виявлення малих БПЛА

Виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є першим етапом їх протидії. Без виявлення факту польоту БПЛА, траєкторії його руху та інших важливих характеристик, які є важливими для націлювання засобів протидії, протидія БПЛА стає неможливою.

Особливістю виявлення БПЛА є те, що великі та середні БПЛА типу літака за своїми характеристиками, призначеними для приховування, фактично відповідають вже відомим аеродинамічним цілям, таким як легкі літаки, крилаті ракети, планери та інше. Такі цілі можуть бути виявлені сучасними засобами розвідки за допомогою існуючих алгоритмів відбору цілей. Для сучасних засобів виявлення, найскладнішими цілями є саме малогабаритні та малошвидкісні БПЛА. Додаткові чинники, які ускладнюють ефективне виявлення таких безпілотних літальних апаратів (БПЛА), включають:

- Використання високоманеврених режимів польоту, таких як "змійка" або "рвані" рухи з періодичним зниженням швидкості.
- Використання матеріалів у конструкції БПЛА, таких як пластик і композити, які слабо відбивають електромагнітні хвилі.
- Управління БПЛА через існуючу мережеву інфраструктуру мобільних операторів зв'язку та точок доступу Wi-Fi, а не виділені командно-розвідувальні управління.

Виявлення таких БПЛА здійснюється комплексно з використанням різних видів технічної розвідки. Наприклад за допомогою РЛС (радіолокаційна розвідка), засобами РіРТР (радіо- та радіотехнічна розвідка), засобами ОЕР (оптико-електронна розвідка) та засобами АР (акустична розвідка).

## 2.2 Виявлення засобами РЛС

Контроль та управління повітряним простором за допомогою радіолокаційних станцій (РЛС) є досить поширеним і традиційним методом виявлення повітряних цілей комплексами протиповітряної оборони (ПВО). Виявлення за допомогою РЛС є ефективним у випадку, коли радіолокаційна видимість цілі відповідає роздільній здатності РЛС. Показником радіолокаційної видимості цілі є її ефективна площа розсіювання (формула 2.1) (ЕПР) :

$$\sigma = (\xi P_{\text{від}}) / E_1 = (\xi D_0 P_{\text{роз}}) / E_1 = \xi S D_0, \quad (2.1)$$

де:  $\xi$  – коефіцієнт деполаризації вторинного поля ( $0 \leq \xi \leq 1$ );  $P_{\text{від}}$  – потужність відображеного від цілі сигналу;  $E_1$  – щільність потоку енергії радіолокаційного сигналу на сфері радіусом, рівним відстані до цілі;  $D_0$  – значення діаграми зворотного розсіювання в напрямку до РЛС;  $S$  – загальна площа розсіювання цілі.

Навіть якщо показник ефективної площі розсіювання (ЕПР) має розмірність  $\text{м}^2$ , він не є геометричною площею, а є енергетичною характеристикою. Це коефіцієнт, який враховує відбивні властивості цілі і залежить від просторової конфігурації цілі, електричних властивостей її матеріалу та відношення лінійних розмірів цілі до довжини хвилі. У радіолокаційних задачах розпізнавання та класифікації цілей зазвичай використовується радіолокаційний портрет повітряної цілі (так звана сигнатура), який пов'язаний з геометричними, фізичними та кінематичними властивостями цілі.

Як об'єкти радіолокації, малі безпілотні літальні апарати (БПЛА) характеризуються значенням ЕПР приблизно 0,05-0,5  $\text{м}^2$ . При цьому у більшості досліджень для таких БПЛА приймається значення ЕПР, рівне 0,1  $\text{м}^2$ , що і є повністю достатнім значенням, що характеризує сигнатури БПЛА,

на яких не використовуються спеціальні засоби зменшення видимості, зокрема – комерційні БПЛА типу "квадрокоптер".

Розрахункові відстані для виявлення малогабаритних БПЛА з боку РЛС, які знаходяться на озброєнні засобів ППО, при різних значеннях ЕПР БПЛА складають:

- для РЛС МВ діапазону:
  - 1) 8-14 км для БПЛА з ЕПР близько 0,1 м<sup>2</sup>;
  - 2) 0,1-1,5 км для БПЛА з ЕПР близько 0,01 м<sup>2</sup>;
- для РЛС ДЦМВ діапазону:
  - 1) 9-16 км для БПЛА з ЕПР близько 0,1 м<sup>2</sup>;
  - 2) 0,8-2 км для БПЛА з ЕПР близько 0,01 м<sup>2</sup>;
- для РЛС СМВ діапазону:
  - 1) 12-25 км для БПЛА з ЕПР близько 0,1 м<sup>2</sup>;
  - 2) 1,4-2,8 км для БПЛА з ЕПР близько 0,01 м<sup>2</sup>.

При цьому в армії, окрім РЛС комплексів ППО, існують інші РЛС, призначені для проведення розвідки місцевості, спостереження за рухом солдат і техніки, наведення автоматичної зброї на ціль в умовах обмеженої видимості, розвідки артилерійських позицій противника, коригування вогню власної артилерії (в тому числі за координатами вибухів артилерійських снарядів). Припущені можливості таких РЛС з виявлення малогабаритних БПЛА з ЕПР 0,01 м<sup>2</sup> можуть становити від 3,5 до 12 км. Однак, якщо для БПЛА з ЕПР 0,1 м<sup>2</sup> розрахункові дані та фактичні результати полігонних випробувань за дальністю виявлення практично збігаються, то для БПЛА з ЕПР 0,01 м<sup>2</sup> фактичні дальності виявлення наближаються до нульових значень.

До додаткових факторів, які знижують рівень ЕПР БПЛА, слід віднести можливість швидкої зміни режиму швидкості, включаючи "зависання", що призводить до втрати супроводження БПЛА через виходження значення швидкості за межі стробування за Доплерівським



зсувом в алгоритмах селекції рухливих цілей (СДЦ) РЛС, а також використання у конструкції великої кількості радіопрозорих пластикових і композитних матеріалів.

На рис. 2.1 показані типові рубежі виявлення гіпотетичного БПЛА (масогабаритні характеристики БПЛА побудовані на основі результатів обробки статистичних даних про них) для РЛС з довжиною хвилі  $\lambda=3$  см, представлені у роботі. При цьому розрахункові сигнатури БПЛА під різними відносними кутами перераховані на ЕПР плоскої фігури, близької до прямокутної, з урахуванням рекомендацій. Діапазон ЕПР для використовуваних БПЛА становив 0,05-0,5 м<sup>2</sup>.

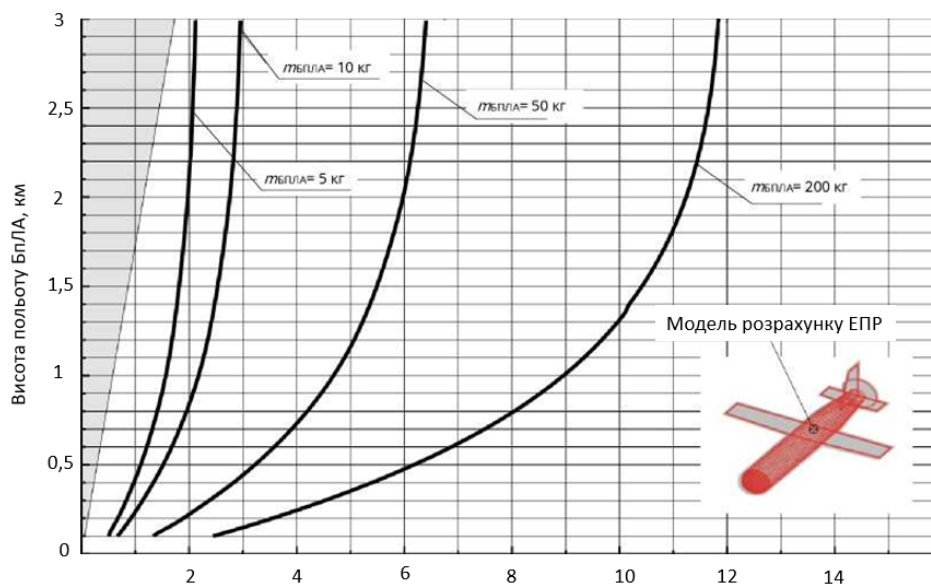


Рисунок 2.1 – Діапазон виявлення БПЛА з різними масо-габаритними параметрами для РЛС з довжиною хвилі  $\lambda=3$  см.[11]

В цілому, сучасні РЛС для виявлення малих безпілотників, зокрема тих, які мають невеликі розміри, низьку швидкість та малі ефективні площі розсіювання (ЕПР), демонструють обмежену ефективність. Багато існуючих РЛС не здатні ефективно виявляти такі цілі, особливо якщо вони використовують радіопрозорі матеріали у своїй конструкції.

Роботи в цьому напрямку показують, що для забезпечення дієздатності системи протиповітряної оборони проти малих безпілотників необхідно розробляти нові перспективні РЛС, які можуть ефективно виявляти та вирізняти малі, повільні та маневрені об'єкти з малими ЕПР.

### 2.3 Виявлення засобами радіо- та радіотехнічної розвідки

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть бути виявлені засобами радіотехнічної розвідки (РРТР) за допомогою прийому та аналізу радіосигналів КРУ (керування та розвідки управління), а також бортового радіоелектронного обладнання - радіолокаційних висотомірів, радіолокаційних станцій, електронних систем спотворення та інших. З точки зору радіорозвідки (РР), основним об'єктом є система управління та керування (КРУ) БПЛА, а також параметри та дані, що передаються через цю систему. Об'єктом радіотехнічної розвідки (РТР) є випромінювання бортових радіолокаційних систем, радіоелектронного обладнання на борту, системи радіоелектронної боротьби корисного навантаження.

Перевагою засобів РРТР є можливість однозначно ідентифікувати БПЛА серед природних об'єктів, таких як птахи, які мають схожі характеристики. Недоліком є те, що засоби РРТР можуть точно визначити лише загальне напрямок (пеленг) на БПЛА, при цьому точність його визначення збільшується зі збільшенням часу спостереження, але засоби РРТР з певною похибкою визначають відстань та висоту цілі.

Аналіз існуючих засобів радіотехнічної розвідки (РРТР) дозволяє зробити висновок, що вони мають наступні типові техніко-тактичні характеристики:

- Функціональність: виявлення джерел радіовипромінювання (ДРВ), розпізнавання типів функціонуючих ДРВ, визначення параметрів засобів радіозв'язку та перехоплення переданих повідомлень, високоточне

визначення місця розташування РЛС, радіостанцій і суттєвих джерел перешкод;

- Діапазон частот для РР: від 3 МГц до 18 ГГц;
- Діапазон частот для РТР: 0,5-40 ГГц;
- Миттєва ширина області огляду спектра: до 2,5 ГГц;
- Роздільна здатність: не гірше 1 кГц;
- Швидкість пошуку в розвідуваному діапазоні: приблизно 3000 ГГц/с;
- Виявлення та пеленгування радіозв'язних засобів перешкоджання, які працюють у режимі ППРЧ зі 1000 стрибками/с;
- Чутливість радіоприймачів: не гірше 5 мкВ/м;
- Точність пеленгування напрямку на ДРВ:  $0,5^{\circ}$ - $1^{\circ}$ ;
- Точність визначення місцезнаходження ДРВ: на відстані до 150 км - від 50 до 150 м.

Дальність виявлення малих БПЛА засобами РРТР суттєво залежить від потужності радіозв'язку БПЛА, витоку сигналів бортового радіоелектронного обладнання, значень коефіцієнта підсилення антени БПЛА та чутливості приймача засобів РРТР.

Для забезпечення постійного та інтенсивного обміну даними між БПЛА та земною контрольною станцією (ЗКС) необхідно мати один або навіть кілька широкосмугових радіоканалів. Забезпечення високого рівня конфіденційності для таких каналів дуже важко (практично неможливо) в сучасних умовах. Внаслідок цього високоінтенсивне радіочастотне випромінювання засобів радіозв'язку стає основною розкривальною ознакою БПЛА, включаючи і малі. Наприклад, БПЛА RQ-1 Predator, яке, хоча і не вважається малим, генерує три лінії радіозв'язку під час експлуатації: широкосмуговий УКВ-радіоканал прямого видимості (3,9-6,2 ГГц) для прямої передачі даних на ЗКС з пропускнуою здатністю 4-4,5 Мбіт/с; супутниковий УКВ-радіоканал (шириною смуги 25 кГц,

пропускною здатністю 16,6 кбіт/с) для передачі команд управління, програм автономного польоту та телеметрії; та широкосмуговий супутниковий УКВ-радіоканал Ку-діапазону для передачі корисних даних із швидкістю 1,54 Мбіт/с.

У порівнянні з випромінюванням радіозв'язку БПЛА, випромінювання інших бортових РЕО БПЛА має меншу інтенсивність. У порівнянні за своєю розкривальною цінністю можна віднести випромінювання бортової РЛС, якщо вона встановлена на БПЛА. Витік паразитних випромінювань інших РЕО БПЛА в порівнянні з інтенсивністю випромінювання засобів радіозв'язку та бортової РЛС - надто малий. Все це робить завдання виявлення малих БПЛА для систем радіотехнічного розвідування технічно складним. Зазначено, що залежно від типів бортових засобів радіозв'язку, РЛС та інших РЕО дальності виявлення БПЛА засобами РРТР можуть мати значення від 4 до 50 км. Ці значення отримані за умови наявності на борту БПЛА активно працюючої РЛС бічного огляду або неперервно працюючої КРУ. Однак, на практиці ці значення для малорозмірних БПЛА будуть ще нижчими через відсутність режимів тривалого неперервного випромінювання, а отримані значення відстаней виявлення на практиці будуть відповідати БПЛА середнього та великого класів. Багатопозиційними системами РРТР може проводитися виявлення БПЛА на відстанях приблизно 250-400 км. Однак для досягнення таких відстаней виявлення потрібне значне розміщення постів РРТР - на відстані бази 20-40 км, що в реальних умовах може виявитися ускладненим. При цьому похибка визначення координат БПЛА такої багатопозиційної системи РРТР становить приблизно 8-32% від виміряного значення відстані (в залежності від бази розміщення постів).

#### 2.4 Виявлення засобами оптико-електронної розвідки

Засоби оптико-електронного розвідування (ОЕР) в видимому діапазоні вважаються відносно надійними для виявлення малорозмірних та низькошвидкісних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що може бути викликано труднощами для систем радіолокаційного розвідування. Проте ефективність оптичного виявлення БПЛА значно залежить від умов оточуючого середовища, особливо від часу доби та погодних умов. Виявлення БПЛА через ОЕР стає можливим при проектуванні його візуального образу на зображувальну площину після використання всіх доступних методів підвищення контрастності та відновлення пропущених елементів графічного зображення. Збільшення дальності виявлення досягається шляхом стиснення поля зору ОЕР, зменшення зони огляду та збільшення часу пошуку. Таким чином, ОЕР в видимому діапазоні не є дуже ефективними для проведення пошуку БПЛА. Тим не менш, при отриманні зовнішніх вказівок, наприклад від радіолокаційних систем, ці засоби можуть бути ефективно використані для супроводження БПЛА. У порівнянні з пілотованими літальними апаратами (ЛА), контрастність БПЛА відносно тла в видимому діапазоні є невеликою через їхні менші розміри, відсутність світлових маяків, менший або відсутній світловий слід двигуна та меншу площу відбивання.

Згідно з даними полігонних випробувань середня дальність візуального виявлення БПЛА за допомогою наявних ОЕР становить:

- при спостереженні за польотами БПЛА у фронт: 100-400 м;
- при спостереженні з бічних кутів: 150-700 м.

Досвід полігонних випробувань показав, що при фактичних висотах польоту малих БПЛА від 300 до 1000 м візуальне виявлення навіть при використанні яскравого фарбування дуже ускладнене.

Використання оптичного збільшення в ОЕР, які використовуються в сучасних вітчизняних ЗРК та ЗАК як дублер-приціли, системи виявлення та

супроводження повітряних цілей, дозволяє збільшити дальність виявлення БПЛА в 4,5-14 разів:

- при збільшенні в 4,5 раз - до 2,2 км;
- при збільшенні в 14 раз - до 6,7 км.

Однак очевидно, що при оптичному збільшенні ймовірність виявлення БПЛА буде зменшуватися через стискання області оглядового простору.

При розгляді вказаних значень слід мати на увазі, що ці дальності отримані в ідеальних погодних умовах та відсутності випадкових перешкод чи шумів у системах оптико-електронного розвідування (ОЕР). Зниження дальності виявлення в конкретних умовах порівняно з ідеальними можна оцінити приблизно за зміною сили оптичного випромінювання (потужність випромінювання на одиницю тілесного кута) для приймача ОЕР. Димка, вологість та опади суттєво зменшують прозорість атмосфери в областях спектра, в яких працюють приймачі ОЕР, і роблять їх використання менш ефективним.

При аналізі технічних характеристик засобів ОЕР слід враховувати, що у засобів ОЕР із дискретним скануванням час огляду робочої області (зони, сектора) простору зазвичай вимірюється одиницями секунд. Існуючі тенденції у розвитку засобів ОЕР передбачають перехід до багатоканального виявлення БПЛА, проте такі засоби ще не отримали широкого застосування в існуючих системах протидії БПЛА.

Можливість виявлення БПЛА можлива не лише за допомогою засобів ОЕР, які працюють у видимому діапазоні, але й за допомогою засобів ОЕР, що працюють у ІЧ-діапазоні. Засоби ОЕР ІЧ-діапазону є особливо ефективними в нічний час. Теплове випромінювання від БПЛА виділяється, головним чином, силовою установкою та в меншій мірі електронними компонентами, пропелерами і гвинтами. Розробники БПЛА намагаються зменшити випромінювання в ІЧ-діапазоні в напрямку встановлених на

землі приймачів і перенаправити це випромінювання вгору. Крім того, у конструкції БПЛА можуть використовуватися матеріали з високою теплопровідністю, такі як срібло і алюміній. У кожному конкретному випадку можливість виявлення БПЛА в ІЧ-діапазоні визначається його тепловим випромінюванням, контрастом та площею випромінювання.

Додатково слід зауважити, що для зменшення помітності БПЛА можуть вибиратися профілі та напрямки їхнього польоту, що зменшують ефективність засобів ОЕР видимого та ІЧ-діапазонів, наприклад, наближення до цілі з боку сонця або іншого потужного джерела видимого світла та ІЧ-випромінювання.

## 3 ПРОТИДІЯ БПЛА МЕТОДАМИ РЕБ

### 3.1 Особливості протидії БПЛА методами РЕБ

В сучасному світі засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) визнаються одними з найважливіших систем для протидії тероризму та іншим формам агресивних дій. Основною перевагою цих засобів є можливість впливу на радіотехнічні засоби противника з великої відстані – вимкнення їх компонентів або приглушення певного діапазону спектра, який використовує противник.

Тому протидії безпілотникам розглядається як перспективна область застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), ресурси яких фактично необмежені при наявності зовнішнього живлення. Засоби РЕБ можуть бути застосовані за одним із кількох способів або їх комбінацією:

- Перешкоджання або введення у неправдивий режим роботи систем управління та передачі даних безпілотника.
- Перешкоджання або введення у неправдивий режим роботи каналу навігації безпілотника, заснованого на прийомі та обробці сигналів одного чи декількох супутникових систем навігації (ССН).

Етап використання засобів радіоелектронної боротьби передуює виявленню факту польоту БПЛА як джерело радіовиявлення, виявленню сигнально-частотних параметрів КРУ та сигналів СРНС, які потенційно можуть бути використані для навігації БПЛА в даному районі. Ці сигнально-частотні параметри передаються засобам радіоелектронного припинення як вказівки на ціль[13].

Використання засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) проти безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у порівнянні з засобами вогневого враження має наступні переваги:



– У процесі застосування засоби РЕБ не витрачають жодних матеріальних засобів враження, а лише використовують відновлюваний ресурс електромагнітної енергії.

– Сучасні засоби РЕБ можуть формувати широкий спектр радіоелектронних перешкод, адаптовано вибираючи ті з них, які найбільш ефективні для конкретних об'єктів пригнічення.

– Засоби РЕБ мають "площинний ефект", який дозволяє одночасно вразити велику кількість БПЛА, які мають схожі радіоелектронні параметри, єдину контрольну-радіоточку, принципи навігації, що базуються на використанні сигналів одних і тих самих супутникових навігаційних систем.

– За умови успішного визначення цілей, таких як окремі індивідуальні БПЛА, засоби РЕБ можуть бути селективними, пригнічуючи лише БПЛА з певними параметрами, наприклад, ПУ БПЛА, що формує контрольну-радіотраєкторний пристрій з певною структурою сигналів, чи сигнали певної супутникової системи навігації.

– У окремих випадках, за умови успішного розкриття структури сигналів та формату переданих повідомлень в контрольну-радіотраєкторному пристрої і в навігаційному каналі, засоби РЕБ можуть дозволити перехопити управління БПЛА та нав'язати йому хибну траєкторію польоту.

Однак, разом з вищезазначеними перевагами, засобам радіоелектронної боротьби (РЕБ) притаманні певні недоліки:

– Вплив засобів РЕБ можливий лише за умови дотримання електромагнітної доступності безпілотного літального апарата (БПЛА).

– Пригнічення каналу управління та навігації БПЛА можливе лише за умови активного дистанційного управління БПЛА з використанням навігації за сигналами супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). Політ БПЛА в режимі "радіомовчання" за заздалегідь вбудованою

програмою, як правило, не дозволяє виявити факт польоту такого БПЛА засобами радіотехнічного розвідування та, відповідно, сформувавши цільові показники для засобів РЕБ для протидії таким БПЛА.

– Застосування засобів РЕБ проти БПЛА в умовах мирного часу обмежене відносно невеликою потужністю через необхідність дотримання вимог електромагнітної сумісності (ЕМС) з іншими радіоелектронними системами (РЕС). Ці РЕС можуть знаходитися як на об'єкті, який захищається від БПЛА, так і можуть бути іншими засобами протидії БПЛА, які, разом із засобами РЕБ, інтегровані в систему протидії, наприклад, радіолокаційні станції або засоби радіотехнічного розвідування та розпізнавання БПЛА.

– Енергетична ефективність засобів РЕБ зменшується пропорційно квадрату відстані, тому засоби РЕБ є засобами ближньої дії, і їх ефективність збільшується з наближенням БПЛА до місця розташування засобів РЕБ (контрольованого рубежу).

– Перешкоди, які мають "площинний ефект" та спрямовані на приглушення кількох керованих та навігаційних каналів одночасно, водночас мають низьку енергетичну ефективність, особливо в умовах використання для керування та навігації БПЛА широкосмугових сигналів та сигналів з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти.

– Перешкоди, що впливають на частоту та структуру сигналів КРУ та СРНС, є найбільш ефективними для порушення керування БПЛА, включаючи нав'язування хибних режимів польотів. Для формування цього типу перешкод, потрібне або оперативне викриття засобами РРТР структури сигналів та формату передавання повідомлень в КРУ та каналі навігації, або завчасне створення баз даних (БД) відповідних сигналів, які використовуються БПЛА. У результаті такі високоефективні перешкоди можуть бути ефективно використані лише проти обмеженої кількості окремих моделей БПЛА, і методи приглушення, що базуються на цих

перешкодах, можуть бути більш придатними для демонстрації можливостей засобів РЕП, ніж для реальної протидії льотній групі БПЛА.

– Ефективність засобів РЕБ значно залежить від сценарію використання БПЛА, їх профілю польоту, рівня автономії та інших факторів. Врахування можливостей застосування засобів РЕБ при плануванні сценарію використання БПЛА, вибір профілю польоту на низькій висоті з урахуванням рельєфу місцевості, передчасне створення для навігаційної системи профілю польоту за електронною картою місцевості, дотримання режиму "радіомовчання" та використання інших методів радіоелектронного захисту БПЛА суттєво зменшує можливості засобів РЕБ.

Основним недоліком засобів РЕБ, що ґрунтуються на приглушенні каналів управління та навігації БПЛА радіоелектронними перешкодами, є те, що випромінювання відповідних перешкод ніяк не гарантує потрібної реакції БПЛА на такий вплив, а саме - припинення польоту в напрямку захищеного об'єкта. Дії БПЛА внаслідок впливу можуть варіюватися в широкому діапазоні, від продовження польоту за вказаною траєкторією (наприклад, за рахунок використання лазерного висотоміра та електронної карти місцевості) до активації "режиму повернення" на своєму ПУ.

Узагальнюючи сказане вище, можна зробити висновок, що засоби РЕП дійсно є високоефективним та перспективним засобом протидії БПЛА, проте на сучасному етапі свого розвитку вони не дозволяють самостійно гарантовано запобігти польоту БПЛА до контрольованого периметру, мають обмеження за застосовністю у зв'язку з необхідністю забезпечення ЕМС з іншими РЕС, не володіють високим рівнем вибіркової цілей для поразки, і, внаслідок цього, можуть бути використані в складі комплексу протидії БПЛА лише у поєднанні з іншими засобами, насамперед, засобами фізичного та вогневого ураження.

### 3.2 Радіоелектронна протидія навігаційній системі БПЛА

При вивченні аспектів приглушення каналу навігації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) важливо враховувати, що навігаційна система БПЛА може мати різний рівень складності і об'єднувати кілька сигналів, що надходять від датчиків різної фізичної природи:

- Навігаційна система на основі приймачів Систем Радіонавігації.
- Проста інтегрована навігаційна система на основі комплексування даних Інерційних Навігаційних Систем (ІНС) та СРНС.
- Інтегрована навігаційна система на основі декількох навігаційних засобів.
- Інтегрована навігаційна система на основі декількох навігаційних пристроїв.

Говорячи про приглушення каналу навігації БПЛА, важливо чітко розуміти, що сам факт радіоелектронного впливу (приглушення або нав'язування хибних режимів роботи) стосується лише сигналів, які приймає апаратура приймача від одного чи декількох СРНС. Це відповідає лише одному каналу із загальної кількості каналів для отримання даних в навігаційну систему БПЛА.

З використанням засобів РЕП можна значно ускладнити роботу лише базових навігаційних систем БПЛА (типи 1-3 із переліку). БПЛА які мають повноцінну інтегровану навігаційну систему (тип 4 із переліку), яка базується на використанні декількох каналів для отримання навігаційних даних, порушення супутникового каналу (включаючи надання хибних навігаційних даних, що суперечать даним інших каналів), в більшості випадків буде виявлено. Після цього навігаційна система припинить використання супутникового каналу для визначення місцезнаходження БПЛА. Важливо відзначити, що в середніх і важких БПЛА, які використовуються для вирішення спеціальних та військових завдань,

інформація від авіаційних ІНС на основі лазерних або волоконно-оптичних гіроскопів використовується як основний канал для формування навігаційних даних у більшості випадків.

Додатково, важливо відзначити, що середні та великі БПЛА, призначені для вирішення спеціальних та військових завдань, використовують "закриті" сигнали СРНЧ, які мають підвищений рівень захисту від перешкод та криптозахисту. Такі супутникові системи можуть створювати захищені зони з підвищеною енергією сигналів "закритих каналів". Наприклад, функціонал супутників GPS-III дозволяє створювати такі захищені зони з підвищеним рівнем сигналу на 20 дБ. У зв'язку з цим завдання порушення коректної роботи навігаційних систем таких БПЛА стає ще більш ускладненим і фактично неможливим.

Швидкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) призводить до удосконалення їх систем навігації, зокрема для використання в умовах обмеженого прийому сигналів систем радіонавігації з супутників (СРНС).

Щодо шляхів вдосконалення, можна визначити наступне:

- Застосування багатостанційних місцевих радіотехнічних систем (МРТС) або систем імітації сигналів супутникової радіонавігації (СРНС) для підвищення точності навігації. Станції цих систем можуть бути розташовані на мобільних платформах, таких як автомобілі, та передбачати розгортання в зоні очікуваного руху безпілотників. Використання таких систем може покращити відношення сигнал/шум на 35-50 дБ в зоні приглушення сигналів СРНС, забезпечуючи прийом навігаційних сигналів при впливі потужних активних шумових і доплерівських (швидкісних) перешкод з потужністю до 100 Вт.

- Використання електронних карт місцевості для навігації, де політ БПЛА відбувається відповідно до даних радіо- або лазерного

висотоміра, радіолокаційної системи або оптико-зорової системи видимого діапазону.

– Застосування різноманітних систем технічного бачення та впровадження технології SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Технічне бачення дозволяє безпілотним літальним апаратам (БПЛА) отримувати інформацію про навколишнє середовище, а технологія SLAM дозволяє їм одночасно створювати карту місцевості, визначати своє поточне місцезнаходження та реєструвати маршрут переміщення в невідомому просторі.

– Розвиток автономного прямолінійного польоту БПЛА в напрямку до цілі, яку визначає зовнішнє джерело випромінювання.

Отже, підсумовуючи вищевикладене, можна зазначити, що застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), зокрема шляхом створення "інтелектуальних" перешкод, спрямованих на частоту і структуру сигналів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) з метою введення в оману стосовно місцезнаходження та траєкторії польоту, орієнтовано на малі безпілотні літальні апарати (БПЛА) з дуже простими навігаційними системами. Проте швидкий темп розвитку БПЛА та можливість використання навігаційних систем, що базуються на електронних картах місцевості або системах технічного зору, в найближчому майбутньому може ускладнити успішне пригнічення каналів супутникової навігації для малих БПЛА.

### 3.3 Радіоелектронна протидія радіолініям управління та передачі даних БПЛА

### 3.3.1 Проблемні питання протидії радіолініям управління та передачі даних БПЛА

В завданні приглушення радіоліній між "ПУ – БПЛА" та "БПЛА – ПУ" ключово враховувати, що ця проблема не представляє собою новизни порівняно із завданням радіоелектронного приглушення навігаційної системи БПЛА. По суті, вона зводиться до відомої задачі створення на вході пригніченого приймача засобу зв'язку такого співвідношення сигнал/шум, яке унеможливило б прийом даних із необхідним рівнем достовірності. Це є класичною задачею в теорії радіоелектронної боротьби (РЕБ). Однак, коли маємо справу із безпілотним літальним апаратом (БПЛА), важливо враховувати використувані в радіолініях сигнально-кодові конструкції, типи переданих даних і їхні вимоги до рівня достовірності прийому. Також потрібно узяти до уваги сигнальні, енергетичні, просторові та інші параметри радіоліній[12].

При вивченні завдань приглушення каналів управління та передачі даних важливо враховувати, що підсистема управління та радіозв'язку безпілотного літального апарату (БПЛА) має складну структуру, що включає різні лінії для передачі даних різного типу, важливості, обсягу, рівня криптозахисту та інших параметрів.

Для забезпечення управління та обміну даними з БПЛА організовані наступні напрямки зв'язку:

- Напрямок "вгору": Цей напрямок включає в собі канал радіоуправління (КРУ), призначений для передавання команд управління БПЛА. Крім того, через цей напрямок передаються команди для управління спеціальною апаратурою та технічними засобами корисного навантаження, розташованими на БПЛА.

- Напрямок "вниз": Цей напрямок організований від БПЛА до пункту управління (ПУ). Включає в себе КРУ для передачі телеметричної

інформації (ТМІ) про стан підсистем БПЛА, апаратури та технічних засобів корисного навантаження. Також через цей напрямок передаються квитанції про виконання команд управління.

– Високошвидкісна лінія передачі даних: Використовується для передачі інформації від спеціальної апаратури та технічних засобів корисного навантаження, розташованих на БПЛА.

При вирішенні завдання подавлення каналів управління (КРУ) БПЛА важливо враховувати, що це завдання може мати різні варіації в залежності від характеристик та конфігурацій КРУ. КРУ є ключовим елементом системи управління БПЛА, і подавлення його сигналу в напрямку "вгору" може суттєво ускладнити або призупинити нормальну роботу БПЛА. Однак існують певні труднощі в розв'язанні цієї задачі:

– Відкриття параметрів КРУ "вгору" вимагає спостереження за пунктом управління (ПУ), який може знаходитися на великій відстані від засобів РЕП (до 30-50 км). ПУ може використовувати спрямовану антенну з дуже вузьким кутом напрямку (близько 5-10°), що обмежує можливості РЕП щодо визначення параметрів КРУ.

– КРУ може бути організованим на різних частотах у дуплексному режимі, або навіть в різних частотних діапазонах (L, C, S, Ku), з різними частотно-часовими параметрами. Це може робити відкриття параметрів КРУ більш складним завданням, оскільки параметри КРУ "вниз" можуть відрізнятися від параметрів КРУ "вгору".

– В КРУ широко використовуються заходи для підвищення захищеності, такі як ШПС, автоматичне переналаштування частот, режим ППРЧ, резервування каналів, дублювання команд, використання спрямованих антен та високий рівень криптозахисту. Це робить завдання подавлення КРУ більш викликаючим, оскільки КРУ активно використовує заходи для ускладнення спроб його приглушення.



Отже, навіть у випадку успішного відкриття та пригнічення каналу радіоуправління (КРУ), немає гарантії, що безпілотною припинить свій польот у напрямку контрольованої зони. Зазвичай, відсутність зовнішнього управління призводить до переходу БПЛА в автономний режим, в якому його дії визначаються вбудованою програмою автономного польоту. Програма ця може передбачати не обов'язково "повернення до пункту управління", а скоріше продовження польоту до конкретного об'єкта та виконання цільового завдання, використовуючи доступні засоби навігації. Для безпілотною, які використовуються у військових або незаконних цілях, ця програма застосовується найчастіше. Таким чином, пригнічення КРУ може зменшити ймовірність успішного виконання БПЛА цільового завдання, але не забезпечить однозначних дій стосовно припинення його польоту, активації "програми повернення" чи "програми посадки", і т. д. Відсутність однозначної реакції БПЛА на пригнічення КРУ є значущим недоліком систем протидії, заснованих виключно на РЕП.

Наступною за важливістю лінією БПЛА, яка є вразливою для засобів РЕП, є лінія «вниз» у напрямку «БПЛА – ПУ». Ця лінія передачі даних від спеціального обладнання та технічних засобів корисного завантаження, розташованих на БПЛА, може бути використана для ручного управління БПЛА оператором на основі візуальних даних від оптико-електронного приладу видимого діапазону. Високий обсяг переданих відеоданих, їх швидкість та потреба у реальному часі роблять криптозахист цих даних на БПЛА складним. Пригнічення цієї лінії може призвести до втрати операторського зворотного зв'язку та змусити оператора управляти БПЛА лише на основі телеметричної інформації, отриманої через КРУ «вниз», що суттєво ускладнить ефективність управління. Однак ефективне пригнічення цієї лінії передачі вимагає точної інформації про місцезнаходження ПУ або ретранслятора, використовуваного для управління БПЛА. Висота польоту та можливість розташування ПУ або ретрансляторів на літальних апаратах

роблять недосяжним для наземних РЕП забезпечення ефективного пригнічення ПУ та ретрансляторів.

### 3.3.2 Особливості організації зв'язку у командній радіолінії управління БПЛА

Командна радіолінія управління в напрямках «вгору» та «вниз» призначена для передачі критичних даних, необхідних для ефективного управління польотами безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ці дані включають команди управління, які передаються з пульта управління (ПУ), квитки про виконання команд, програми польоту, програми дій у автономному режимі, а також інформацію щодо навігації та спеціальних параметрів, необхідних для нормального функціонування БПЛА. Також передається телеметрична інформація (ТМІ) про стан окремих підсистем, залишок пального та інші важливі показники.

У випадку великих та середніх БПЛА, зокрема тих, які використовуються для військових або спеціальних завдань, канал радіоуправління (КРУ) зазвичай організовується у режимі прямої видимості з наземним або повітряним пультом управління (ПУ). У випадку значного віддалення від ПУ може використовуватися ретрансляція сигналу через вузол-ретранслятор на літальному апараті або через стаціонарний засіб зв'язку. Для менших БПЛА, які використовуються як для спеціальних, так і комерційних цілей, КРУ зазвичай організовується у режимі прямої видимості з наземним пультом управління.

### 3.3.3 Особливості організації зв'язку в радіолініях передачі даних з БПЛА

При організації ліній передачі даних «вниз» у напрямку «БПЛА – ПУ» необхідно враховувати наступні особливості:

- Спеціальна апаратура та технічні засоби корисного навантаження, розташовані на БПЛА, формують потоки даних значного обсягу (таблиця 3.1). В більшості випадків передачу цих даних необхідно вести в режимі, близькому до реального часу (наприклад, відеодані від ОЕС БПЛА часто використовуються оператором для управління БПЛА в ручному режимі);

- Великий обсяг формованих даних, а також обмеженість доступного частотного ресурсу передбачає необхідність використання різних методів та технологій оптимізації пропускну здатності та підвищення швидкості лінії передачі даних: використання технології адаптивної зміни сигнально-кодових конструкцій ACM (Adaptive Coding and Modulation); технології спектрального стиснення OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), технологій стиснення даних на борту. При цьому невеликі габарити БПЛА заважають розташуванню на ньому направлених антенних систем з відносно великим коефіцієнтом підсилення, але можливе використання антенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) на основі кількох простих антен;

- Великий обсяг формованих даних, необхідність їх передачі в режимі реального часу, а також відсутність високопродуктивного обладнання шифрування на борту БПЛА передбачає використання або низького рівня криптозахисту, або його повного відсутності.

Таблиця 3.1 – Спеціальна апаратура та технічні засоби корисного навантаження які розташовані на БПЛА

Технічні засоби корисного навантаження	Кількість джерел даних на БПЛА	Інтенсивність потоку даних від одного джерела без стиснення	Інтенсивність потоку даних від одного джерела з урахуванням
--	--------------------------------	---	---

			попереднього стиснення
ТБ-камера	1-4	10-150 Мбіт/с	10-150 Мбіт/с
Фото-камера	1-4	До 20 Мбіт/с	До 4 Мбіт/с
Тепловізійна апаратура	1-4	До 0,5 Мбіт/с	До 0,5 Мбіт/с
Лазерна апаратура	1	До 0,5 Мбіт/с	До 0,5 Мбіт/с
РЛС	1	5-200 Мбіт/с	До 0,5 Мбіт/с
РРТР апаратура	1	До 5 Мбіт/с	0,2-1 Мбіт/с

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Охорона праці

Тема кваліфікаційної роботи магістра присвячена аналізу систем радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратами, що є частиною критичної енерго інфраструктури. Враховуючи що розробка обладнання для придушення безпілотних літальних апаратів вимагає складних процесів, то тема передбачає роботу з електронними приладами, то важливим є дотримання вимог з охорони праці і техніки безпеки.

Наведено нижче правила необхідно застосувати під модифікації електромереж.

Проаналізуємо основні правила і норми які необхідно дотримуватися при експлуатації електронних приладів та роботі з електромережами.

Працівник в процесі роботи зобов'язаний проходити:

- повторні інструктажі - не рідше одного разу в квартал;
- перевірку знань інструкції з охорони праці та діючої інструкції з надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків на виробництві один раз на рік;
- медичний огляд - один раз в два роки;
- перевірку знань правил для працівників, що мають право підготовки робочого місця, допуску, право бути виконавцем робіт, наглядачами або членом бригади, - один раз на рік.

При порушенні правил охорони праці а саме тих які описані у документі ДСТУ EN IEC 60051-6:2022 Прилади прямої дії електровимірювальні аналогові показувальні та допоміжні частини до них, в залежності від характеру порушень, проводиться позаплановий інструктаж або позачергова перевірка знань.

Виконавець робіт, зайнятий випробуваннями електрообладнання, а також працівники, які проводять випробування одноосібно з використанням стаціонарних випробувальних установок, повинні пройти місячне стажування під контролем досвідченого працівника. Кожен працівник повинен знати, де перебуває аптечки і вміти нею користуватися. Працівник, який бере участь в проведенні вимірювань і випробувань електрообладнання, повинен працювати в спецодязі і застосовувати засоби захисту, що видаються відповідно до діючих галузевими нормами.

Для забезпечення захисту від ураження при випадковому дотику до струмоведучих частин діючої електроустановки або частин, що знаходяться під вимірювальним або випробувальним напругою, необхідні наступні способи і засоби захисту:

- захисні огороження;
- безпечне розташування струмоведучих частин;
- захисне відключення;
- ізоляція струмоведучих частин;
- ізоляція робочого місця;
- попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки.

Для забезпечення безпеки робіт при вимірах і випробуваннях зі зняттям напруги в електроустановці слід виконувати:

- відключення електроустановки від джерела живлення;
- механічне замикання приводів комутаційних апаратів;
- зняття запобіжників;
- від'єднання кінців живильних ліній та інші заходи, що виключають можливість помилкової подачі напруги на робоче місце;
- перевірку відсутності напруги;
- заземлення відключених струмопровідних частин (накладення переносних заземлень, ввімкнені заземлювальні ножі);

- огороження робочого місця або залишаються під напругою струмоведучих частин, до яких в процесі роботи можна доторкнутися або наблизитися на неприпустиме відстань.

Для іншого персоналу який займається налаштуванням пристрої, працює з комп'ютерними системами теж необхідно проходити інструктаж.

У своїй роботі працівники повинні використовувати тільки ті електроприлади, до яких вони допущені посадовими інструкціями. При користуванні складними електроприладами дотримуватись спеціальних інструкцій. Перед увімкненням електроприладу необхідно перевіряти справність розетки мережі, а також, вилку і мережевий шнур, чи не порушена ізоляція. Уникати перегрівання, переохолодження, а також попадання вологи та пилу всередину електроприладу. Не загороджувати вентиляційні отвори, вони потрібні для запобігання перегріванню.

Працівникам що не мають відповідного дозволу забороняється:

- торкатися до клем та електропроводів, до розеток мережі, до арматури освітлення;
- відкривати електрощити;
- розбирати та робити самостійно ремонт (самого устаткування, дротів і т. ін.);
- самостійно проводити ремонт мереж, електророзеток, вимикачів.

Дотримання правил безпеки при користуванні електроприладами, а також при правильні експлуатації електричних мереж убезпечує від отримання значної кількості виробничих травм.

#### 4.2 Фактори виробничого середовища і їх вплив на життєдіяльність людей

Нормальна життєдіяльність людини вагомо залежить від умов зовнішнього середовища, зокрема виробничого. Адже в процесі трудової

діяльності на організм людини чиниться своєрідний “тиск” несприятливими виробничими факторами, що прямо чи опосередковано впливають на її здоров’я та працездатність. Серед виробничих факторів прийнято розрізняти небезпечні та шкідливі.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров’я працівника.

Шкідливий виробничий фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров’я, зниження працездатності працівника.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать:

рухомі машини та механізми; пересувні частини виробничого устаткування; підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура поверхонь устаткування, матеріалів чи повітря робочої зони; підвищений рівень шуму, вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації; підвищені чи понижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря; небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів; відсутність чи нестача природного світла; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; пряме та відбите випромінювання, що створює засліплюючу дію.

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на:



- загальнотоксичні, що викликають отруєння всього організму;
- подразнюючі, що викликають подразнення дихального тракту та слизових оболонок;
- сенсibiliзуючі, що діють як алергени;
- канцерогенні, що викликають ракові захворювання;
- мутагенні, що призводять до змін наслідкової інформації;
- такі, що впливають на репродуктивну (дітонароджувальну) функцію.

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні грибки та ін.) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини).

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Один і той же небезпечний і шкідливий виробничий фактор за природою своєї дії може належати одночасно до різних груп.

Залежно від наслідків впливу на працюючих шкідливих та небезпечних виробничих факторів розрізняють виробничі травми, професійні захворювання та професійні отруєння, внаслідок яких може відбутись зниження або втрата працездатності (тимчасова чи постійна, повна чи часткова), можливий і фатальний кінець.

Виробнича травма – порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок дії виробничих факторів.

Професійне захворювання – патологічний стан людини, обумовлений роботою і пов'язаний з надмірним напруженням організму або несприятливою дією шкідливих виробничих факторів.

Професійне отруєння – це порушення стану здоров'я в результаті дії шкідливих речовин при їх проникненні в організм людини у виробничих умовах. Довготривалий вплив незначних доз шкідливих речовин призводить до хронічних отруєнь. Проникнення в організм великої кількості шкідливих речовин за короткий час (не більше доби) спричинює гострі отруєння.

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого приміщення, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цього приміщення, який визначається температурою, відносною вологістю, рухом повітря та тепловим випромінюванням нагрітих поверхонь, що в сукупності впливають на тепловий стан організму людини.

В процесі трудової діяльності людина перебуває у постійній тепловій взаємодії з виробничим середовищем. За нормальних мікрокліматичних умов в організмі працівника, завдяки терморегуляції, підтримується постійна температура тіла (36,6 °C).

Кількість тепла, що утворюється в організмі, залежить від фізичного навантаження працівника, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов виробничого приміщення. Віддача тепла організмом людини здійснюється, в основному, за рахунок випромінювання і випаровування вологи з поверхні шкіри.

Можливості організму пристосовуватись до метеорологічних умов значні, однак небезмежні. Верхньою межею терморегуляції людини, що знаходиться у стані спокою, прийнято вважати 30–31 °C при відносній вологості 85% чи 40 °C при відносній вологості 30%. При виконанні фізичної роботи ця межа значно нижча. Так, при виконанні важкої роботи теплова рівновага зберігається при температурі повітря 12–14 °C.

Серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світлу відводиться одне із чільних місць. Адже

відомо, що майже 90% всієї інформації про довкілля людина отримує через органи зору.

Вплив світла на життєдіяльність людини вивчений досить добре. Воно впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати таким вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;
- не повинно бути засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частотої переадаптації органів зору;
- не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- повинен бути достатній, для розрізнення деталей, контраст поверхонь, що освітлюються;

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працюючих. Воно сприятливо впливає на органи зору, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин та покращує розвиток організму в цілому.

Сонячне випромінювання зігріває та знезаражує повітря, очищуючи його від збудників багатьох хвороб (наприклад, вірусу грипу). Окрім того, природне світло має і психологічну дію, створюючи в приміщенні для працівників відчуття безпосереднього зв'язку з довкіллям.

Природному освітленню властиві і недоліки: воно непостійне в різні періоди доби та року, в різну погоду; нерівномірно розподіляється по площі виробничого приміщення; при незадовільній його організації може викликати засліплення органів зору.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі роботи, напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення

необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники.

Також до факторів виробничого середовища відносяться: віброакустичні коливання, виробничі випромінювання (іонізуючі, ультрафіолетові і лазерні), електромагнітні поля. Проте до основних виробничих факторів які є при усіх видах трудової діяльності є мікроклімат та чинники зовнішнього освітлення.

## ВИСНОВОК

Отже, використання засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) в протидії безпілотникам вважається перспективною стратегією, оскільки вони дозволяють впливати на радіотехнічні засоби противника з великої відстані, вимикаючи їх компоненти або приглушуючи важливі діапазони спектра. Засоби РЕБ можуть застосовуватися для перешкоджання або введення у неправдивий режим роботи систем управління, передачі даних та каналів навігації безпілотників.

В порівнянні з засобами вогневого впливу, засоби РЕБ мають численні переваги. Вони не витрачають матеріальні ресурси враження, використовуючи лише відновлюваний ресурс електромагнітної енергії. Сучасні засоби РЕБ можуть формувати різноманітні радіоелектронні перешкоди, адаптовані для ефективного пригнічення конкретних об'єктів. Також вони мають "площинний ефект", здатний вразити багато БПЛА з схожими радіоелектронними параметрами одночасно.

Засоби РЕБ можуть бути селективними, пригнічуючи лише конкретні БПЛА з певними параметрами. У разі успішного визначення цілей, таких як окремі БПЛА чи системи управління, засоби РЕБ можуть виявитися ефективними у перехопленні управління та введенні хибної траєкторії польоту. Таким чином, використання засобів РЕБ надає можливість впливу на безпілотники і є важливою складовою в сучасних стратегіях протидії тероризму та іншим формам агресивних дій.

Також, не дивлячись на численні переваги, засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) також виявляють деякі обмеження та недоліки. Зокрема, вплив засобів РЕБ можливий лише при наявності електромагнітної доступності безпілотного літального апарата (БПЛА), і їх ефективність залежить від відстані до цільового об'єкта. Також варто враховувати, що пригнічення каналу управління та навігації БПЛА можливе лише при

активному дистанційному управлінні та використанні навігації за сигналами супутникових систем.

У мирний час застосування засобів РЕБ обмежене величиною потужності, оскільки необхідно дотримуватися електромагнітної сумісності з іншими радіоелектронними системами. Засоби РЕБ є засобами ближньої дії, і їх ефективність збільшується з наближенням БПЛА до місця розташування засобів РЕБ.

Крім того, ряд обмежень включає в себе складнощі в створенні перешкод, які впливають на кілька керованих та навігаційних каналів одночасно, а також енергетичні обмеження при впливі на широкосмугові сигнали та сигнали з псевдовипадковим переналаштуванням робочої частоти. Перешкоди, спрямовані на частоту та структуру сигналів КРУ та СРНС, виявляються найбільш ефективними для порушення керування БПЛА та можливості нав'язування хибних режимів польоту.

Враховуючи всі ці обставини, важливо враховувати можливості та обмеження засобів РЕБ при розробці сценаріїв використання БПЛА та прийнятті рішень у сфері протидії безпілотникам.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комплекс “Буковель-AD”. [Електронний ресурс]. URL: <https://spetstechnoexport.com/uk/product/bukovel-ad>.
2. Kvertus, “Український розробник та виробник систем радіоелектронної боротьби та розвідки”
3. Анти-дрон рушниця “Піранья – 5 РАДК”. [Електронний ресурс]. URL: <https://ukraine.piranha-tech.net/#strong>
4. Комплекс РЕБ “Піранья – Купол”. [Електронний ресурс]. URL: <https://ukraine.piranha-tech.net/#strong>
5. Комплекс “Краснуха-4”. [Електронний ресурс]. URL: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/zasobi-radioelektronnoi-borotbi-voroga>
6. Комплекс "SURICATTA". [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ukrinmash.com/uploads/files/5a992d095fdf0.pdf>
7. Анти-дрон рушниця “REX-2”. [Електронний ресурс]. URL: <https://kalashnikovgroup.ru/catalog>
8. Американська класифікація БПЛА. [Електронний ресурс]. URL: <https://armyinform.com.ua/2020/03/11/standarty-nato-v-galuzi-bezpilotnoyi-aviacziyi/>
9. Класифікація БПЛА за STANAG 4670. [Електронний ресурс]. URL: <https://armyinform.com.ua/2020/03/11/standarty-nato-v-galuzi-bezpilotnoyi-aviacziyi/>
10. О.І. Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третьак, І.В. Рубан. Класифікація БПЛА за призначенням. Системи озброєння і військова техніка, 2007, випуск 1(9). URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/878899d8-b7a7-4481-af22-9835c0748ba0/content>
11. Діапазон виявлення БПЛА з різними масо-габаритними параметрами для РЛС. [Електронний ресурс]. URL: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/informacijno-analitichni-materiali-shhodo->



[mozhlivostej-viyavlennya-malorozmirnix-bezpilotnix-litalnix-aparativ-zasobami-texnichnoi-rozvidki-zs-rf](#)

12. С.П. Лещенко, А.А. Адаменко, В.А. Лупандін, Г.В. Мегельбей. Система інформаційного забезпечення протидії безпілотним літальним апаратам противника при комплексному застосуванні засобів радіоелектронної боротьби. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2022, 3(73). URL: <https://doi.org/10.30748/zhups.2022.73.05>

13. Д.А. Іщенко, В.А. Кирилюк. Застосування малогабаритних передавачів перешкод для радіоелектронного подавлення безпілотних літальних апаратів – носіїв радіокерованих підривних засобів. Збірник наукових праць ЖВІ. Випуск 14. 06.12.2017.

# ДОДАТКИ

Додаток А

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**МАТЕРІАЛИ**

**ХІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



**13-14 грудня 2023 року**

**ТЕРНОПІЛЬ  
2023**

УДК 355.4

М. Цапуря

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Аналіз систем радіоелектронної боротьби з безпілотними літальними апаратам**

М. Tsapura

**Analysis of Electronic Warfare Systems Against Unmanned Aerial Vehicles**

На сьогоднішній момент безпілотні літальні апарати відіграють важливу роль в різних сферах, включаючи цивільні та військові застосування. Зокрема, досвід ведення бойових дій підтверджує, що ефективне використання безпілотних авіаційних комплексів впливає на успішність бойових та спеціальних операцій. Ці комплекси використовуються не лише для розвідки та спостереження за полем бою, але й для доставки підривних засобів до об'єктів.

У сучасному світі засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ) виявляються надзвичайно важливими для подолання терористичних загроз та інших форм агресивної діяльності. Головною перевагою засобів РЕБ є їхні можливості в дистанційному впливі на радіотехнічні системи противника, такі як виведення з ладу їхніх компонентів або приглушення певних ділянок спектра. Дослідження у цій галузі є завжди актуальним, оскільки змагання між системами радіотехнічного подавлення та захисту постійно прогресує.

Аналіз систем РЕБ, зокрема українських та російських, разом із дослідженням сучасних безпілотних літальних апаратів та їхньою класифікацією, є важливим етапом у розумінні сучасних можливостей і вдосконалення заходів безпеки. Зокрема, урахування використання любительських дронів, таких як відомі компанії DJI, визначає необхідність розробки засобів боротьби з ними.

Отже, в даній роботі піддається детальному аналізу сучасні засоби радіоелектронної боротьби, такі як портативна система глушіння дронів ANTIDRON (KVS G-6), комплекс РЕБ "Буковель-AD", комплекс РЕБ "Піранья – Купол", розглядаються їхні характеристики та вплив на безпілотні літальні апарати, що є актуальним напрямком досліджень у зв'язку зі зростанням використання цих технологій у бойових умовах.

<b>С. Пашчак</b> ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПОСТКВАНТОВОГО ТА КВАНТОВОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ <b>S. Pashchak</b> PROMISING METHODS AND TOOLS FOR POST-QUANTUM AND QUANTUM INFORMATION SECURITY	246
<b>Олег Пастух, Ростислав Стігайло</b> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ З КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ НА ОСНОВІ МОБИ JAVASCRIPT <b>Oleh Pastukh Dr., Prof., Rostislav Stigailo</b> DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR GENERAL USE WITH CLIENT-SERVER ARCHITECTURE BASED ON THE JAVASCRIPT LANGUAGE	247
<b>М. Цапуря</b> АНАЛІЗ СИСТЕМ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМ <b>M. Tsapura</b> ANALYSIS OF ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS AGAINST UNMANNED AERIAL VEHICLES	248