

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.

“__” _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“Бакалавр”

Тема: Аналіз побудови радіоканалів зв'язку з безпілотними літальними апаратами

Виконавець: Гуляєв М.Д.

Керівник _____

Нормо контролер _____

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу випускника інституту _____

Рецензент _____

“ _____ ” _____ 200 ____ р. _____

З рецензією ознайомлений _____

“ _____ ” _____ 200 ____ р

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок(спеціальність) 173” Авіоніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Павлова С. В.

“ _____ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

1. Тема дипломної роботи _____

затверджена наказом ректора від “04” квітня 2022 р. № 352/ст

2. Термін виконання роботи: з 16 травня 2022 року по 19 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: _____

4. Зміст пояснювальної записки: _____

5. Перелік обов’язкового графічного(ілюстративного) матеріалу:

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІДГУК

керівника дипломної роботи

випускника інституту _____

Національного авіаційного університету _____

Керівник дипломної

роботи _____

“ _____ ” _____ 200 ____ р. _____

РЕФЕРАТ

Ключові слова : радіостанція, диспетчерська система, зв'язок, управління БПЛА, комунікація.

Обсяг пояснювальної записки дипломної роботи становить 44 сторінки, які включають в себе: 6 розділів, XX ілюстрацій, 2 таблиці, 27 бібліографічних найменувань за переліком джерел посилань.

Вступ. Аналіз основних тенденцій розвитку авіаційної техніки передових держав показує, що одним із пріоритетних напрямків галузі є удосконалення засобів зв'язку та передачі даних. Важливість надійного, якісного, захищеного зв'язку наочно продемонстрована в військовій галузі. Серед основних напрямків в удосконаленні засобів зв'язку та передачі даних в авіації України також - є розробка цифрових ширококутових каналів передачі даних в рамках дослідно – конструкторських робіт, зокрема, зі створення тактичного безпілотного авіаційного комплексу. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) вимагають безпечного та раціонального їх використання, саме цьому, серед інших вимог, допомагає якісна передача телеметричних даних та ідентифікація даних на сервер. Завдяки існуючій космічній програмі, кожен безпілотник повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції високої щільності з декількома автоматизованими дронами. Отже, необхідно дослідити можливість створення оптимального, стабільного, багатоканального зв'язку з безпілотником, щоб було можливо безперервно передавати дані в обидва боки на сервер на великі відстані. Метою даної дипломної роботи є аналіз побудови радіоканалів зв'язку з безпілотними літальними апаратами. Та дослідження параметрів зв'язку безпілотника з сервером за допомогою різних технологій.

Актуальність теми дослідження. Завдяки новим регламентам ЄС та запуску космічної програми, кожен безпілотний літальний апарат (БПЛА) відтепер повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції високої щільності з декількома

автоматизованими БПЛА. Отже, намагання створити стабільний багатоканальний зв'язок з безпілотником, для забезпечення можливістю передачі даних в обидва боки на сервер без будь-яких втрат інформації – є пріоритетним завданням.

Мета та завдання. Визначення стабільного багатоканального зв'язку сервера з безпілотником, для передачі даних в обидва боки на сервер без будь-яких втрат інформації.

Об'єктом дослідження. Процес передачі даних з БПЛА до сервера та в зворотньому напрямку.

Предмет дослідження.

Аналіз методів передачі даних з БПЛА до сервера та в зворотньому напрямку.

Мета дослідження.

Метою дослідження є аналіз побудови радіоканалів зв'язку з безпілотним літальним апаратом військового призначення та розробка аналітичної моделі розрахунку характеристик радіоканалу з БПЛА.

В роботі використовувалися дані зі списку використаних джерел.

Постановка завдання та практичне значення одержаних результатів:

На сьогоднішній день використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у військовій сфері стає де факто, тому дуже велика увага приділяється розробці перспективних безпілотних авіаційних комплексів (БАК) військового призначення.

В районі проведення антитерористичної операції використовується значна кількість БАК військового призначення, які задіяні у проведенні розвідувальних дій, коригування вогню та виконання інших спеціальних завдань. Ефективність їх використання в значній мірі залежить від характеристик каналів радіозв'язку управління та передачі даних з корисного навантаження [1 – 2].

На сьогоднішній день актуальною задачею є розробка завадостійких, надійних радіоканалів великої протяжності та великої пропускної здатності.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ СИСТЕМ (БПЛА).....	11
1.1 Аналіз поточного стану засобів авіаційного зв'язку.....	12
1.2 Практична цінність дистанційно пілотованих авіаційних систем.....	14
1.3 Основні вимоги до систем зв'язку з БПЛА.....	15
2 АНАЛІЗ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З БПЛА.....	16
2.1 Традиційні моделі радіоканалів типу земля- повітря та повітря земля для зв'язку з БПЛА.....	17
2.2 Огляд способу організації зв'язку з використанням БПЛА малої дальності.....	18
Висновки за розділом.....	19
3 СТРУКТУРА КЕРУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ БПЛА.....	20
3.1 Склад бортового обладнання.....	20
3.2 Опис об'єкта досліджень.....	22
3.3 Класифікація БПЛА.....	23
Висновки за розділом.....	25
4 ВИМОГИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДО БПЛА РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	26
4.1 Вибір модуляції.....	27

5. РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОКАНАЛУ БПЛА.....	29
Висновки за розділом.....	35
6.СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ.....	36
6.1 DJI Aeroscope.....	36
6.2 Диспетчерська система UAS Traffic Management (UTM).....	37
6.3 Автоматизована диспетчерська система для БПЛА у Китаї	37
6.4 Платформа для керування дронами – FlytGCS	38
6.5 Система зв'язку з дроном C-BAND	38
Висновки за розділом	39
ВИСНОВКИ.....	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	41

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотний літальний апарат

LTE – Long Term Evolution

Wi-Fi – Wireless Fidelity

LoRa – Long Range

ДП – друкована плата

UTMISS – Unmanned Traffic Management Information Services System

ДК – дистанційне керування

UTM – Unmanned aircraft system traffic management

БС – базова станція

IP – Internet Protocol

МС – мобільна станція

ЄС – Європейський Союз

SESAR – Single European Sky Air Traffic Management Research

USB – Universal Serial Bus

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

CQI – Channel Quality Indicator

CINR – Carrier to Interference + Noise Ratio

RSRP – Reference Signal Received Power

UE – User Equipment

RB – Resource Blocks

MCS – Modulation Code System

ККД – коефіцієнт корисної дії

DL – Down Load

UL – Up

ВСТУП

Аналіз основних тенденцій розвитку авіаційної техніки передових держав показує, що одним із пріоритетних напрямків галузі є удосконалення засобів зв'язку та передачі даних. Важливість надійного, якісного, завадозахищеного зв'язку наочно продемонстрована в військовій галузі. Серед основних напрямків в удосконаленні засобів зв'язку та передачі даних в авіації України також - є розробка цифрових широкосмугових каналів передачі даних в рамках дослідно – конструкторських робіт, зокрема, зі створення тактичного безпілотного авіаційного комплексу. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) вимагають безпечного та раціонального їх використання, саме цьому, серед інших вимог, допомагає якісна передача телеметричних даних та ідентифікація даних на сервер. Завдяки існуючій космічній програмі кожен безпілотник повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції високої щільності з декількома автоматизованими дронами. Отже необхідно створити стабільний багатоканальний зв'язок з безпілотником, щоб було можливо безперервно передавати дані в обидва боки на сервер на великі відстані.

Метою даної дипломної роботи є аналіз наявних радіоканалів передачі даних для безпілотного літального апарата на різні відстані. Та дослідження параметрів зв'язку безпілотника з сервером за допомогою існуючих технологій.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ СИСТЕМ (БПЛА).

Завдяки новим регламентам ЄС по запуску космічної програми кожен безпілотник повинен транслювати телеметричні дані та ідентифікаційні дані на сервер, щоб забезпечити операції з декількома автоматизованими БПЛА. Тож першочергове призначення пристрою — стабільна передача телеметричних і ідентифікаційних даних БПЛА. Наступна — організація можливості прокладання та зміни маршруту польоту дрона по заданих

координатах. Додатково, при стабільному високошвидкісному інтернет-з'єднання необхідно організувати можливість передачі відеосигналу з БПЛА.— Контролер зв'язку, за допомогою якого виконується формування пакетів даних для їх відправка, роботи алгоритмів організації комутації сигналів з модулями зв'язку; — Польотний контролер дрона; — Відеокамера.

Стабільний багатоканальний зв'язок з беспілотником, аби передавати дані на великі відстані в обидва боки (на його вхід та його вихід) сервера без будь-яких перерв в часі. Основними функціями цієї програми є передача телеметричних даних, організація управління польоту та передача відеосигнала з дрона.

Для формування пропозицій ,що до удосконалення засобів авіаційного зв'язку доцільно буде проаналізувати їх поточний стан, виділити основні недоліки і визначити напрямки потрібних робіт.

1.1 Аналіз поточного стану засобів авіаційного зв'язку

На даний час в авіації для організації радіозв'язку використовують бортові УКХ радіостанції, а також наземні радіостанції відповідних діапазонів.

Серед УКХ радіостанцій, так званих ближнього зв'язку можна виділити командні та зв'язкові .

Командні УКХ радіостанції, наприклад Р-863, Р-862 ,Р-800 Л1 Л2 призначені для забезпечення телерадіозв'язку ЛА, а також для передачі і прийому телекодової інформації. Вони здатні працювати, як у режимах амплітудної і частотної модуляції, так і у режимі частотної телеграфії. Такі радіостанції забезпечують безпошуковий і безпідстроювальний радіозв'язок в межах прямого бачення як між літаками, так і літаків з наземними командними пунктами, а також взаємодію з літаковими переговорними пристроями, автоматичними радіокомпасами та деяким іншим бортовим обладнанням ЛА. Ці технічні засоби є аналоговими мають обмежену ремонтпридатність, не відповідають сучасним вимогам дозавадостійкості та

захищеності передачі інформації, не працюють у режимі псевдовипадкової перебудови робочої частоти та не мають вмонтованих модулів криптографічного захисту.

Технологія бортових УКХ –радіостанцій під сітку частот 8.33\25 кгц (вимоги НАТО) було відпрацьовано в рамках дослідно – конструкторських робіт з модернізації зразків авіаційної техніки.

В подальшому поглиблення модернізації радіостанцій може включати впровадження сучасних електронних програмованих пультів керування, які б забезпечили програмування та вибір робочих каналів, а також цифрову індикацію. Актуальним є напрямок робіт по заміні аналогового радіоканалу на цифровий широкопasmовий канал передачі інформації. Таке обладнання має забезпечити високошвидкісну приховану заводозахищену передачу даних від нових цифрових систем модернізованого бортового комплексу в масштабі часу, канал має відповідати міжнародним вимогам, в т. ч. за параметрами електромагнітної сумісності. Аналогічне завдання, що до розробки каналу управління командної радіолінії та каналу передачі інформації (радіолінії передачі даних) є актуальним в рамках роботи зі створення вітчизняного тактичного безпілотного авіаційного комплексу. Найбільш актуальними, на даний час, як в авіації, так і в інших галузях, є завдання, що до впровадження цифрових заводозахищених радіостанцій. Найбільш відомими у світі виробниками апаратури зв'язку є Thales Communications Inc(Франція)HARRIS Corporations(США) MOTOROLA Inc (США)Rohde andSchwarz (Німеччина); Aselsan (Туреччина).

Оскільки авіасегмент зв'язку має свою специфіку, то при впровадженні нових авіазасобів зв'язку повинні бути враховані такі обов'язкові умови : оптимальною вважається бортова УКХ радіостанція типу 9681 v/UHF (Aselsan) Турецька республіка. Це сучасна цифрова, заводозахищена, програмно- орієнтована, багатодіапазонна радіостанція. Радіостанції працюють в режимах передачі даних на фіксованих частотах з забезпеченням ППРЧ; відкрита передача інформації (голосової та параметричної); закрита передача даних (з криптографічним

захистом). Вітчизняна промисловість спеціалізується на розробленні апаратно-програмних засобів для криптографічного захисту систем обробки та передачі даних. Їх основним елементом є плата перетворення сигналів у цифровий вигляд та шифрування/дешифрування.

Збільшення кількості БПЛА, необхідність у контролі повітряного простору та дотримання певних норм законодавства, Європейська організація SESAR (Single European Sky ATM Research «Дослідження в області організації руху у повітрі єдиного європейського повітряного простору» Joint Undertaking анонсувала на 2019 рік проведення випробування диспетчерської системи U-space, яка має за ціль керувати польотами БПЛА, тобто, кожен дрон має автоматично відправляти інформацію про політ на сервер і отримувати інформацію про польоти інших беспілотників. На основі отримання даних, сервер координує та планує маршрути, що важливо для впровадження беспілотної авіації в повітряному просторі країни. Наразі SESAR потребують готових рішень для організації системи зв'язку. Тобто є потреба у системі, яка зможе безперебійно забезпечувати обмін інформацією в бездротовій ланці між сервером і дроном на відстанях обумовлених дальністю польоту конкретного БПЛА.

1.2 Практична цінність дистанційно пілотованих авіаційних систем

БПЛА набувають все більшого поширення в різних галузях народного господарства та у військовій техніці. БПЛА застосовують для моніторингу та охорони транспортних мереж паливно-енергетичного комплексу, патрулювання транспортних магістралей, лісових масивів та територій, що охороняються, для спостереження за погодними умовами, в розвідувальних цілях і для аерофотозйомок. Широко використовують БПЛА у діяльності таких відомств, як ФСБ, МВС, МНС, митна служба.

В даний час спостерігається великий інтерес до комплексів повітряного спостереження та моніторингу природного середовища, технічних об'єктів з

використанням малогабаритних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ефективність їх застосування значною мірою залежить від характеристик пристроїв радіозв'язку БПЛА та наземного пункту керування (НПУ). Тому актуальним завданням є оптимізація радіоліній управління та передачі даних, тому що вона сприяє збільшенню дальності зв'язку та підвищенню якості передачі інформації. Для вирішення цього завдання необхідно дослідження параметрів радіоканалу зв'язку з БПЛА.

1.3 Основні вимоги до систем зв'язку з БПЛА

Лінія радіозв'язку літального апарату (ЛА) та наземного пункту управління повинна забезпечувати в загальному випадку двосторонній обмін інформацією між бортовою та наземною апаратурою. Основними завданнями, що вирішуються зазначеною лінією зв'язку, є:

у напрямку НПУ-ЛА - передача командної інформації для здійснення управління польотом ЛА та роботою цільового бортового обладнання;

у напрямку ЛА-НПУ - передача телеметричної інформації, передача інформації, отриманої за допомогою цільового обладнання (фотознімки, ТБ та ін.).

Радіолінії НПУ-ЛА і ЛА-НПУ істотно різняться за пропускну здатністю:

Радіолінія НПУ-ЛА являє собою вузькосмуговий канал зв'язку.

Обсяг інформації, що передається, навіть за повний час польоту ЛА і роботи його обладнання, невеликий. Необхідна швидкість передачі у цьому каналі у разі не перевищує кількох десятків Кбіт/сек. Радіолінія ЛА-НПУ повинна мати, як правило, значно більшу пропускну здатність. Конкретне значення необхідної швидкості передачі значною мірою визначається призначенням конкретного апарату та показниками встановленого у ньому цільового устаткування.

Передача команд управління ведеться із наземного пункту управління, а передача телеметричних даних із боку БПЛА. Вимоги до передачі командотелеметричних даних на великі відстані диктуються необхідністю постійного контролю ЛА і необхідністю коригувати параметри польоту у процесі виконання льотного завдання.

2 АНАЛІЗ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ З БПЛА

Канал радіозв'язку між БПЛА та наземним пунктом управління відноситься до авіаційного каналу, який описується багатопроменевою моделлю з явищами перевідображення, розсіювання та дифракції [3].

Відображення має місце, коли електромагнітна хвиля стикається з перешкодою, розміри якої значно перевищують довжину хвилі.

Дифракція відбувається, коли траса розповсюдження між передавачем і приймачем перекрита щільною перешкодою з розмірами, які є великими до довжини хвилі сигналу, що призводить до формування позаду перешкоди вторинних хвиль.

Розсіювання відбувається, коли сигнал, що поширюється, наштовхується на об'єкт, розміри якого порядку довжини хвилі сигналу або менше, що призводить до перевипромінювання енергії сигналу по всіх напрямках.

Ці три ефекти поширення разом утворюють загальну картину замирань у каналі, що досить повно представляється, як замирання великого масштабу і дрібномасштабними замираннями.

Найчастіше БПЛА цивільного призначення працюють у межах прямої видимості наземного пункту управління. Було проведено огляд моделей каналів, зв'язку з безпілотними літальними апаратами за матеріалами останніх експериментальних досліджень під егідою НАСА за різними сценаріями функцій: над водою, у горбистій місцевості, у горах, а також у містах та передмістях. Для кожного сценарію були проаналізовані різні характеристики вимірювань радіоканалу, такі як

розсіювання, облік багатопроменевих компонентів, середньоквадратичне розширення затримки, інтервал стаціонарності, фактор Райсу, кореляція отриманих сигналів.

Результати проведеного аналізу дозволяють обґрунтувати вибір методів обробки навігаційних вимірювань у пошукових системах із використанням повітряного сегмента на основі безпілотних літальних апаратів.

2.1 Традиційні моделі радіоканалів типу Земля-повітря та повітря-Земля для зв'язку з безпілотними літальними апаратами .

Існує безліч бездротових технологій, які можуть бути застосовані у розроблюваній системі, тому, варто провести їх аналіз та обрати кращі варіанти, згідно з поставленими завданнями.

Технологія мобільного зв'язку 5G має високу швидкість передачі даних (1Гбіт/с) з низьким рівнем шуму, але вона не може працювати на великих відстанях і крім того, ще не набула поширення в Україні та країнах Європи.

Wi-Fi з частотою 5,8 ГГц підтримує швидкість інтернет-з'єднання до 6.77 Гбіт/с, це є надзвичайно хорошим показником швидкості бездротової передачі даних, до того цей частотний діапазон менше завантажений іншими пристроями, тому присутньо менше завад, але через високу радіочастоту погано долають перешкоди і тому постають ті ж проблеми, що і у технології мобільного зв'язку 5g – погана дальність прийому і передачі даних (до 100м)

Технологія Wi-Fi на частоті 2,4 ГГц є загальною частотою для використання сучасними безпілотниками. Забезпечує дальність зв'язку у 5 км, має хороші показники електромагнітної завадостійкості. Але його недолік полягає в тому, що існує багато пристроїв, які працюють на такій частоті, що спричиняє погіршення зв'язку і як наслідок зменшує дальність дії цієї технології бездротового з'єднання.

Але, якщо в ході польоту, використовувати гаряче перемикання між точками доступу Wi-Fi, можливо мінімізувати затримку передачі даних та мати стабільний зв'язок з сервером.

Технологія Wi-Fi з частотою 1,3 ГГц через можливість організації зв'язку на великі відстані може бути кращим варіантом, але ця частота заборонено в ЄС.

Технологія Bluetooth ідеально підходить для коротких відстаней (до 15 м), має низьке енергоспоживання, але через малу дальність ця технологія не підходить для організації зв'язку між безпілотником і базовою станцією.

LTE має достатнє покриття для організації польотів БПЛА майже по всій країні (Україна) (98%), тож можна отримати зв'язок у будь-якому населеному пункті. Але з негативного — це затримка, яка може досягати 500 мс. Швидкість LTE дозволяє нам передавати HD відео. Він має хороший захист від завад

Використання технології LoRa характеризується низьким енергоспоживанням. Система має середню дальність 15 км від мобільної станції (МС) до базової станції (БС), працює аналогічно LTE (необхідне покриття на території, де планується використовувати дану технологію). При частоті 864 МГц забезпечується швидкість інтернет-з'єднання до 300 кбіт/с, що є достатньою швидкістю для передачі телеметричних даних та корегування маршруту БПЛА по точках [10]. Існують також інші технології (Zigbee, zwave тощо), але їм не вистачає ні швидкості, ні дальності передачі.

2.2 Огляд способу організації зв'язку з використанням БПЛА малої дальності

Оригінальний спосіб організації радіозв'язку з використанням групи БПЛА-ретрансляторів малої дальності, що дозволяє забезпечити інформаційний обмін в умовах протидії супротивника.

Спільні дії развідгруп і безпілотних літальних апаратів (БПЛА) малої дальності (МД) дозволяють понизити ризики втрат пілотованої авіації при завданні ударів по об'єктах поразки [1]. При цьому ключовим аспектом є забезпечення необхідної якості інформаційного обміну між абонентами. Винахід відноситься до галузі авіаційної техніки, а саме до систем управління польотом безпілотних літальних апаратів та систем спостереження за рухом у повітряному просторі.

Відомо велика різноманітність різних БПЛА, що відрізняються за призначенням, габаритами, масою, швидкістю, висотою і дальністю польоту. Вони можуть здійснювати польоти як у верхньому повітряному просторі, так і в нижньому. У зв'язку з цим актуальною стає проблема забезпечення безпеки польотів, насамперед, запобігання ненавмисним зіткненням БПЛА з іншими учасниками повітряного руху, у тому числі з цивільними повітряними суднами.

Висновки за розділом

Розглянуті технології у системі зв'язку з безпілотними літальними апаратами.

Важливими є вимоги до системи: відстань, на якій слід забезпечити стійке з'єднання (15 км), захист передачі даних від затримки отримання інформації, (затримка менше 1 секунди),

розміри приладу (до 200 г), діапазон робочої температури експлуатації (від -40 до +85 ° С), енергоспоживання (не більше 500mAh), сумісність з іншими компонентами системи та відповідність стандартам ЕС. Існуючі ширококутові моделі великих радіоканалів зв'язку з БПЛА мають значення розкиду значень середньоквадратичного відхилення затримки від 25 до 4000 нс, що свідчить про істотну відмінність умов поширення радіохвиль у різних місцях розміщення антен НП [1-3], у передмісті та місті [1] -3]. 4-6] стосовно параметризації моделі багатопроменевості. Для радіоканалів типу Земля-повітря та повітря-Земля, де основним є компонент променя прямої видимості (LOS, від англ. Line-of-Sight) [7], інтервал стаціонарності (SD, від англ. Stationarity Distance).

У цьому дослідженні ми розглянули моделі каналів зв'язку з безпілотними літальними апаратами на основі останніх експериментальних досліджень під егідою НАСА. Для формалізації моделей радіоканалів вони були розділені на різні функціональні сценарії: над водою, у горбистій місцевості, у горах, а також у місті та передмісті. Для кожного сценарію були проаналізовані різні характеристики вимірювань радіоканалу, такі як: втрати при поширенні, облік багатопроменевих складових, розкладання середньоквадратичної затримки, інтервал стаціонарності, К-фактор Райсу, кореляція сигналів, що приймаються.

Результати аналізу дозволяють обґрунтувати вибір методів обробки навігаційних вимірювань у задачах позиціонування з використанням повітряного сегмента на базі безпілотних літальних апаратів.

3 СТРУКТУРА КЕРУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ БПЛА

3.1 Склад бортового обладнання БПЛА

Типова структура керуючого комплексу БПЛА складається з джерел даних, які використовують інерційні датчики вимірювання прискорень і кутових швидкостей, магнітні датчики, датчики температури, датчики тиску, вбудований GPS-приймач. Отримані дані через блок аналого-цифрового перетворення сигналів потрапляють до блоку бортової автоматичної системи управління (БАСУ), де проводиться оцінка параметрів руху об'єкта і вироблення керуючих впливів на виконавчі механізми об'єкта. Як вхідні дані блок системи управління також може приймати зовнішні керуючі впливи. Вироблені значення сигналів управління подаються до органів управління польотом БПЛА. В незалежній пам'яті БАСУ зберігаються програми виконання польоту та зміни блоку управління, що змінюються під впливом певних подій, що відбуваються на БПЛА у польоті.

Відомі система та метод бездротового управління БПЛА та доступу до даних спостереження за патентом №WO 2007146538, МПК В64С 39/00; В64С 39/00, опубл. 2007-12-21 (ep.espacenet.com). Система включає наземний пункт управління (НПУ), БПЛА, обладнаний пристроями управління, пристроями передачі та прийому інформації, а також бездротову систему зв'язку між БПЛА і НПУ. Метод полягає в

тому, що бездротова система зв'язку, ручні пристрої введення, прийому та передачі даних (наприклад, стільниковий телефон або PDA), а також інші аналогічні технології використовують для зв'язку БПЛА та НПУ, передачі команд управління параметрами польоту БПЛА та для отримання даних спостереження з БПЛА. В якості мережі для передачі даних пропонується використовувати mobile communications (GSM) network, a general packet radio service (GPRS) network, a code division multiple access (CDMA) network, an evolution-data optimized (EV-DO) network, enhanced data rates для GSM evolution (EDGE) мережа, тридцять генерації глобальної системи для мобільних комунікацій (3GSM) мережа, a digital IS-136/time division multiple access (IS-136/TDMA) мережа, an integrated digital enhanced network (iDEN).

Аналогу притаманний істотний недолік. Для передачі команд управління в реальному часі потрібна широкопasmовою система радіозв'язку, для якої характерні за визначенням низькі схильність до перешкод і перешкодостійкість. Іншим недоліком є складність збору та передачі повної інформації про повітряну обстановку, що неминуче знижує рівень безпеки польотів.

Найбільш близькими за своєю технічною сутністю до заявленого є система та метод для безпечних польотів БПЛА в цивільному повітряному просторі за патентом №US2008033604, МПК G05D 1/00; G06F 17/00; G05D 1/00; G06F 17/00, опубл. 2008-02-07 (ep.espacenet.com). До складу зазначеної системи входить наземна станція управління (НСУ), обладнана пристроєм візуалізації, віддалений пілот-оператор на НСУ та система передачі даних між БПЛА та НСУ.

Метод дозволяє пілоту-оператору контролювати політ БПЛА за допомогою тривимірного зображення, що синтезується. Під час польоту бортова система БПЛА періодично транслює свій ідентифікатор, місцезнаходження, висоту та азимут.

Багато завдань, що вирішуються сучасними комплексами безпілотних літальних апаратів, вимагають наявності високошвидкісних ліній передачі інформації між БПЛА і наземним комплексом управління [1]. Наприклад, завдання оперативного моніторингу або розвідки за допомогою технологій БПЛА припускають отримання на борту і доставку на НКУ растрових зображень різного дозволу, отримуваних з датчиків різних діапазонів довжин хвиль. Найбільш поширена на сьогодні технологія передачі інформації полягає у безперервній трансляції зображення у міру його отримання в цифровому або аналоговому форматі, структура якого не

мінняється впродовж усього польоту. Необхідно врахувати, що безперервна трансляція зображень має наступні особливості: значна частина візуальної інформації може не мати шуканих ознак; відсутня гарантія достовірної доставки інформації; потрібно постійне випромінювання сигналу передавачем, що дозволяє легко виявити БПЛА і встановити його локацію.

Розглянемо найбільш поширені моделі БПЛА загального користування, орієнтовані на FPV взаємодія з пілотом. Найбільш поширені FPV системи складаються з наступних частин: камера, відео передавач, відео приймач, дисплей. Для передачі відеосигналу використовуються різні частотні діапазони. Найбільш поширені частоти для передачі відео з БПЛА: 900 МГц;— 1,2-1,3 ГГц;— 2,4 ГГц;— 5,8 ГГц;— Як відомо, чим нижче частота і більше довжина хвилі, тим більше проникаюча здатність, але більші фізичні габарити антени. Крім того, не всі FPV частоти можна використовувати в тій чи іншій країні, так як деякі діапазони можуть бути зарезервовані для державних органів та інших спеціальних організацій. На даний момент для передачі потокового відео з камери БПЛА найбільш поширена в більшості країн частота 5,8 ГГц з наступних причин: законно в більшості країн;— малогабаритна антена;— низька вартість;— широка поширеність;— не впливає або впливає незначно на частоту 2,4 ГГц (частота— WiFi сигналу).

3.2 Опис об'єкта дослідження

Безпілотні літальні апарати - літальний апарат без екіпажу на борту [11]. БПЛА можуть володіти різним ступенем автономності - від керованих дистанційно до повністю автоматичних, а також відрізнятися по конструкції, призначенням і безлічі інших параметрів. Управління БПЛА може здійснюватися епізодичною подачею команд або безперервною - в останньому випадку БПЛА називають дистанційно-пілотованим літальним апаратом (ДПЛА) [11]. Основною перевагою БПЛА / ДПЛА є істотно менша вартість їх створення та експлуатації (за умови рівної ефективності виконання поставлених завдань) - за експертними оцінками бойові БПЛА верхнього

діапазону складності коштують приблизно \$ 6 млн доларів США, в той час як вартість порівнянного пілотованого винищувача становить близько 100 мільйонів доларів [12]

Залежно від принципів керування, розрізняють такі різновиди безпілотних літальних систем: безпілотні некеровані; безпілотні автоматичні; безпілотні дистанційно-пілотовані літальні апарати (ДПЛА). У авіації після 2000 року йде стрімке розширення саме останнього типу апаратів, й про них йдеться, коли вживають термін «безпілотник», «дрон» (англ. drone), або абревіатуру UAV. Тобто, під терміном «безпілотник», «БПЛА», «UAV» мається на увазі саме повітряне судно, яким через канали зв'язку керує один або декілька пілотів. Екіпаж БПЛА може також включати командира, оператора сенсорів, оператора вогневих засобів.

Безпілотні літальні апарати, відповідно до стандартів НАТО, так само, як і літаки із пілотом на борту, керуючись значенням повної злітної маси розділено на 3 класи: I — повна злітна маса до 150 кг, II — повна злітна маса до 600 кг, III — повна злітна маса більше 600 кг. Клас I підрозділяється на категорії: «мікро» — до 2 кг, «міні» — до 15 кг, «малі» — від 15 кг. Від наведеної вище класифікації НАТО дещо відрізняється класифікація безпілотних авіаційних систем (UAS), що її застосовано у документі Департаменту оборони США. Згідно цього документу, виділяють п'ять груп UAS: Група 1 (мікро-, міні тактичні) — від 0 до 9 кг, до 300 метрів над ґрунтом, основний представник — «RQ-11 Raven». Група 2 (малі тактичні) — від 9.5 до 25 кг; до 1000 метрів над ґрунтом, представник — «Scan Eagle» Група 3 (тактичні) — менш, ніж 600 кг, представник — «RQ-7 Shadow» Група 4 (персистентні) — більш, ніж 600 кг; представник — «MQ1B Predator» Група 5 (пенетрувальні) — більш, ніж 600 кг; представник — «MQ-9 Reaper» 2.2.1

3.3 Класифікація безпілотних літальних апаратів

Класифікація безпілотних літальних апаратів може здійснюватися за різними критеріями [16], таким як: сфера використання; тип системи управління; правила

польоту (візуальні, приладові й візуально-приладові); клас повітряного простору (сегресовані і несегресовані); тип крила (літаковий, вертолітний і конвертоплавний); напрямок зльоту / посадки; тип зльоту / посадки; тип двигуна; паливна система; тип паливного бака; кількість використань; категорія (з урахуванням маси і максимальної дальності дії); радіус дії; висота використання; функціональне призначення.

Розглянемо такий критерій, як система управління з огляду на те, що взаємодія даної системи по бездротових каналах зв'язку з оператором або системою регулювання повітряного руху є ключовою.

За даним критерієм БПЛА можна класифікувати як: дистанційно пілотовані - управляються безпосередньо оператором в зоні видимості через наземну станцію; дистанційно керовані - працюють автономно, але можуть потенційно управлятися пілотом або оператором, що використовують тільки зворотний зв'язок, через інші підсистеми контролю; автоматичні - виконують попередньо запрограмовані дії без управління пілотом і не мають можливості змінювати план дій під час польоту або адаптуватися до зовнішніх змін, але багаторазові можуть перепрограмуватися перед кожним вильотом з урахуванням зміни навколишнього середовища і зібраного матеріалу на попередніх вильотах; дистанційно-керовані авіаційної системою - виконують низькорівневе управління вбудованими системами або наземною станцією, а високорівневе управління траєкторією польоту і / або стану контролюється оператором; безпілотно-автоматичні - польотом керують повністю вбудовані безпілотні автоматичні системи без втручання оператора або використання наземної станції, які можуть бути перепрограмовані з урахуванням змін в середовищі або нові цілі. В даний час все більшого поширення в цивільній сфері отримали FPV-БПЛА М

мультикоптер. FPV - це скорочення від англ. First Person View (вид від першої особи) і являє собою спосіб управління БПЛА за допомогою відеокамери на борту, яка в реальному часі передає відеодані пілотові мультикоптера, що дозволяє управляти квадрокоптером поза полем людського зору. Мультикоптер - це літальний засіб, реалізований за вертолітною схемою з трьома або більше несучими

гвинтами, що використовує безколекторні електродвигуни та літійполімерні акумулятори в якості джерела енергії. Управляються такі прилади дистанційно за допомогою зв'язку по радіоканалу польотного контролера БПЛА і пульта радіоуправління. З пульта управління подаються задані команди на приймач БПЛА, після прийому дані передаються на польотний контролер, який включає в себе реалізацію і розподіл всіх основних функцій мультикоптера.

На основі прийнятої команди і показників датчиків, які реалізовані на конкретному апараті, вбудоване програмне забезпечення на основі певного алгоритму відправляє сигнали на двигуни БПЛА. Отже, польотний контролер є свого роду «мозком» літального апарату.

Загальна схема взаємодії пульта управління і внутрішніх компонентів БПЛА на основі польотного контролера Arduino Mega 2560

Висновки за розділом

В даному розділі було проаналізовано: реалізації створення радіосистем з ретрансляцією, їх види та особливості; типи та особливості пасивних ретрансляторів та використання їх на радіорелейній лінії; також в цьому розділі був детальний розбір класифікації БПЛА. Для подальшого аналізу ми зрозуміли, що теорія пасивних ретрансляторів заснована на припущенні, що пасивний ретранслятор типу перешкода являє собою металевий лист. Однак на практиці, полотна виконують у вигляді дротяної сітки. Такі сітки добре відображають електромагнітні хвилі, якщо поляризація падаючого поля паралельна проводам сітки.

БПЛА є лише частиною складного багатофункціонального комплексу, на відміну від пілотованих літаків. БПЛА потребує додаткових елементів системи підтримки. Зазвичай система складається з безпілотного літального апарату, робочого місця оператора, програмного забезпечення, каналу передачі даних та елементів необхідних для виконання цілей польоту.

4 ВИМОГИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДО БПЛА РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

Наразі дуже велика увага приділяється розробці перспективних безпілотних авіаційних комплексів (БАК) військового призначення.

В районі проведення антитерористичної операції використовується значна кількість БАК військового призначення, які задіяні у проведенні розвідувальних дій, коригування вогню та виконання інших спеціальних завдань. Ефективність їх використання в значній мірі залежить від характеристик каналів радіозв'язку управління та передачі даних з кориснонавантаження [1 – 2].

Основні проблеми під час побудови каналів радіозв'язку з БПЛА: – забезпечення прямої радіовидимості між БПЛА та наземною станцією управління (НСУ);

– компенсація затухання радіосигналу на трасі від БПЛА до НСУ.

Побудова радіоканалів зв'язку великої протяжності залежить від висоти польоту БПЛА,

підйому антенних пристроїв НСУ, використання ретрансляційного обладнання, як в повітрі так і на землі, супутникових систем зв'язку та стаціонарних систем передачі.

Компенсація втрат рівня радіосигналу досягається за рахунок підвищення вихідної потужності прийомопередавального обладнання, використання вузьконаправлених антенних пристроїв

на поворотних механізмах та використання адаптивних цифрових антенних решіток (ЦАР).

Відома турецька компанія Meteksan, яка спеціалізується на виготовленні продуктів спецзв'язку для оборонної промисловості. Інженерами цієї компанії було

використано напрацювання сучасних у світі систем, що застосовуються у військовій галузі.

Таблиця 1

Вимоги до телекомунікаційних ліній радіозв'язку з БПЛА військового призначення

Призначення каналу радіозв'язку	Канал управління БПЛА та передачі телеметричної інформації	Канал передачі даних з корисного навантаження (передача фото, відео даних)
Ймовірність бітової помилки (BER)	Не більше 10^{-7}	Не більше 10^{-6}
Швидкість передачі даних	56 Кбіт/сек	2-30 Мбіт/сек
Напрямок передачі даних	НСУ – БПЛА БПЛА – НСУ	БПЛА – НСУ

4.1 Вибір виду модуляції.

Основною вимогою при створенні системи зв'язку з БПЛА є забезпечення можливості передачі даних із заданою швидкістю і ймовірністю помилки при великих відстанях між БПЛА і НСУ. Зі збільшенням позиційності модуляції ймовірність бітової помилки збільшується, тобто для підтримки заданого рівня бітової помилки необхідно збільшувати відношення сигнал/шум на вході приймача. Тому доцільним є використання багатопозиційної модуляції тільки при малих відстанях між БПЛА і НСУ для передачі більшого обсягу інформації без зміни ширини смуги частот. Для забезпечення максимальної дальності зв'язку необхідно використовувати енергетично найвигідніші види модуляції – такі як двійкова фазова

маніпуляція (BPSK) і квадратурна фазова маніпуляція (QPSK). При зміні відстані між БПЛА і НСУ в широких межах (500 м – 30 км) потужність сигналу з несучою 2,4 ГГц на вході приймача буде змінюватися у межах 35 дБ. Такий великий енергетичний запас дозволяє використовувати різні види модуляції для підвищення швидкості передачі даних з БПЛА на НСУ при підтримці ймовірності бітової помилки на заданому рівні. Реалізація даного підходу вимагає створення алгоритмів адаптивної зміни схеми модуляції і кодування цифрової системи зв'язку [9, 10].

Боротьба з частотно-селективними спотвореннями сигналу. Канал зв'язку з БПЛА є частотно-селективним через багатопроменевість поширення радіосигналів. Для боротьби з багатопроменевістю сигналів була розроблена технологія мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDM) [6, 8], яка ефективно застосовується в безпроводних мережах Wi -fi і WiMax. Основна ідея OFDM полягає в тому, що смуга пропускання каналу розділяється на групу вузьких смуг (субканалів), кожна зі своєю піднесучою. На всіх піднесучих сигнал передається одночасно, що дозволяє забезпечити практично яку завгодно велику загальну швидкість передачі інформації при невеликій швидкості передачі в кожному окремому субканалі. По суті, дана технологія трансформує широкосмуговий частотно-вибірковий канал в безліч паралельних невивіркових по частоті вузькосмугових каналів. Така схема успішно компенсує вплив багатопроменевості, якщо часова довжина символів на всіх піднесучих перевищує найбільшу затримку розповсюдження сигналу. Висока спектральна ефективність OFDM модуляції забезпечується досить близьким розташуванням частот сусідніх піднесучих коливань, які генеруються спільно так, щоб сигнали всіх піднесучих були ортогональні. Як правило, чим більше число піднесучих, тим менше вплив завмирань сигналу,

обумовлених багатопроменевим поширенням. Однак це призводить до ускладнення апаратури і до збільшення спотворень сигналу за рахунок доплерівського ефекту. У деяких випадках при великому доплеровським зсуві OFDM втрачає свої переваги (в цьому випадку найкращим варіантом є використання одночастотної модуляції для передачі сигналу). Отже, необхідно вибрати оптимальну кількість піднесучих при застосуванні OFDM для передачі даних з БПЛА.

5 РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОКАНАЛУ З БПЛА.

Канал радіозв'язку між БПЛА і наземним пунктом управління відноситься до авіаційного каналу, який описується багатопроменевою моделлю з явищами перевідбиття, розсіювання і дифракції [3].

Перевідбиття має місце, коли електромагнітна хвиля стикається з перешкодою, розміри якої значно перевищують довжину хвилі.

Дифракція відбувається, коли траса поширення між передавачем і приймачем перекрита щільною перешкодою з великими розмірами, по відношенню до довжини хвилі сигналу, що призводить до формування позаду перешкоди вторинних хвиль.

Розсіювання відбувається, коли сигнал наштовхується на об'єкт, розміри якого близькі довжині хвилі сигналу або менші, що призводить до перевипромінення енергії сигналу в усіх напрямках.

Ці три ефекту поширення разом утворюють загальну картину завмирань в каналі, досить повно подану як завмираннями великого масштабу і дрібномасштабними завмираннями.

У більшості випадків БПЛА працюють в межах прямої видимості наземної станції керування. При наявності переважаючого за амплітудою прямого променя розподіл миттєвих значень сигналу описується законом Райса [4]:

$$p(x) = x$$

$$\frac{\sigma x}{2} \cdot \exp(-K) \cdot I_0\left(\frac{x}{\sqrt{2K}}\right), (1)$$

де $I_0(z)$ – модифікована функція Бесселя першого роду нульового порядку; K – параметр,

що визначається як відношення потужності дзеркального компонента до потужності багатопроменевого сигналу; x – компонент завмирання; σx

2 – середня потужність

багатопроменевого сигналу до детектування.

Втрати при поширенні сигналу. Великомасштабні завмирання є середнє ослаблення потужності сигналу або втрати на трасі під час проходження трас великої протяжності.

Втрати на трасі і затінення – ось два основних механізми, які призводять до ефектів завмирань крупного масштабу.

Середні втрати радіосигналу на трасі визначаються за формулою

$$L(d)[\text{дБ}] = L(d_0)[\text{дБ}] + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X\sigma, (2)$$

де $L(d_0)$ – середні втрати на трасі прямої видимості при еталонній відстані d_0 в вільному

просторі; d – відстань між передавачем та приймачем; γ – експонента втрати на трасі, яка

залежить від навколишнього середовища; $X\sigma$ – логарифмічно нормальне завмирання внаслідок затінення.

В безпілотних літальних системах еталонна відстань d_0 вибирається рівним робочій

висоті БПЛА.

Середні втрати $L(d_0)$ при розповсюдженні у вільному просторі розраховуються за формулою

$$L(d)[\text{дБ}] = 10 \log(4\pi d_0$$

$\lambda)$

2

де λ – довжина хвилі.

Якщо відстань d_0 та частота f ($f = c/\lambda$, c – швидкість світла) вимірюються в кілометрах та мегагерцах відповідно, то з рівнянь (1) та (2), отримуємо наступне (при $X\sigma =$

0)

$$L(d)[\text{дБ}] = 10 \gamma \log(d) + (20 - 10\gamma) \log(d_0) + 20 \log(f) + 32,45 \quad (3)$$

Розрахунки втрат на трасі в залежності від відстані між БПЛА і НСУ для різних частот

(0,9 ГГц; 2,4 ГГц; 5,8 ГГц) показують, що при відстані між БПЛА і НСУ 30 км загасання

сигналу у вільному просторі в діапазонах 0,9 ГГц; 2,4 ГГц та 5,8 ГГц рівні 121 дБ, 130 дБ і

136 дБ відповідно. У гірших умовах поширення ($\gamma = 3$) загасання сигналу сильно збільшується. Для компенсації такого ослаблення сигналу можна використовувати різні

способи, в тому числі підвищення коефіцієнта посилення антен (головним чином, наземної),

використання енергетично вигідних видів модуляції, підвищення вихідної потужності

передатчиків.

Аналіз бюджету каналу зв'язку з БПЛА. Для цифрового зв'язку ймовірність помилки

залежить від відношення енергії біта (E_b) до спектральної потужності шуму (N_0) в

приймачі,

що визначається виразом [5]:

$$\frac{Eb}{N_0} = PR \cdot N \cdot (W \cdot R), \quad (4)$$

де PR – потужність прийнятого сигналу, N – потужність шуму, W – ширина смуги пропускання, R – швидкість передачі біта.

Одним з найважливіших показників якості каналу є залежність ймовірності появи помилкового біта P_b від E_b/N_0 . Різниця між реальним (прийнятим) та необхідним відношенням E_b/N_0 дає енергетичний резерв лінії зв'язку (або бюджет каналу зв'язку).

$$M(\text{дБ}) = \left(\frac{Eb}{N_0} \right)_{\text{прийн}} - \left(\frac{Eb}{N_0} \right)_{\text{необх}} \quad (5)$$

Потужність, що приймається антеною визначається виразом [6]:

$$PR(d)(\text{дБ}) = PT(\text{дБ}) + GR(\text{дБ}) + GT(\text{дБ}) - Ls(\text{дБ}) - L0(\text{дБ}) \quad (6)$$

де GR и GT – коефіцієнти підсилення передавальної та приймальної антен, PT – передана

потужність, $L0$ – коефіцієнт втрат системи, не пов'язаних з розповсюдженням (втрати у

фідері та роз'ємах НСУ та БПЛА.

З рівнянь (4), (5) та (6), отримуємо наступне

$$M(\text{дБ}) = PT(\text{дБм}) + GR(\text{дБ}) + GT(\text{дБ}) - LS(\text{дБ}) - L0(\text{дБ}) - PS(\text{дБм}), \quad (7)$$

де PS – чутливість приймача, дБм.

При роботі БПЛА в межах прямої видимості з НСУ діапазон змін рівня сигналу через

завмирання може досягати 15 дБ [7].

Енергетичний запас M використовується для компенсації цих завмирань.

Розглянемо випадок, коли безпілотна літальна система використовує діапазон частот 2,4 ГГц для передачі даних, наземну антену з коефіцієнтом підсилення 24 дБі, всенаправлену

антену на борту з коефіцієнтом підсилення 5 дБі, передавач БПЛА з вихідною потужністю 30

дБм (1 Вт), приймач НСУ з чутливістю -90 дБм, бюджет каналу зв'язку 15 дБ.

Вважаємо, що

$\gamma = 2$ (поширення у вільному просторі), $d_0 = 1$ км, $L_0 = 6$ дБ (втрати в фідері і роз'ємах НСУ

дорівнюють 1,5 дБ, втрати в бортовому фідері і роз'ємах – 1,5 дБ, поляризаційна неузгодженість антен – 3 дБ). В цьому випадку максимальна дальність зв'язку каналу

передачі даних з БПЛА на НСУ становить 12,5 км. При зменшенні значення енергетичного

запасу на завмирання до 10 дБ дальність зв'язку каналу передачі даних буде дорівнювати 22,2 км.

При застосуванні гостронаправленої антени з великим коефіцієнтом підсилення (більше 20 дБ) в НСУ ширина діаграми спрямованості мала (менше 10°), що накладає

обмеження на застосування їх в умовах близького польоту БПЛА. Можливе використання

двох типів антен НСУ для різних відстаней польоту БПЛА: всенаправленої антени з підсиленням 5-8 дБі для умов ближнього польоту і спрямованої антени з підсиленням більше

20 дБі для умов далекого польоту. Однак в цьому випадку необхідно використання

опорно-

поворотного пристрою і системи спостереження за БПЛА.

Максимальна дальність зв'язку БПЛА. Розглянемо можливі ситуації взаємного розташування БПЛА і НСУ. БПЛА може знаходитись в зоні видимості, або в зоні півтіні, або в зоні тіні (прийом в цій зоні може бути здійснений тільки завдяки дифракції сигналу на земній поверхні).

Максимальна дальність радіозв'язку визначається за формулою [8]:

$$dLOS = \sqrt{2 \cdot R3 \cdot h1} + h1$$

$$2 + \sqrt{2 \cdot R3 \cdot h2} + h2$$

2,

де $h1$ – висота підйому наземної антени, м; $h2$ – висота підйому бортової антени, м;

$dLOS$ –

гранична дальність прямої видимості, км; $R3$ – радіус Землі ($R3 = 6400$ км для високих радіочастот).

Антенна НСУ є мобільною і встановлюється на висоті не більше 10 м (типово 2-4 м). При висоті польоту БПЛА 1000 м граничну відстань прямої видимості між БПЛА і НСУ менше 140 км. Розрахунки показують, що для отримання дальності зв'язку 600 км БПЛА повинні працювати на висоті більше 20 000 м. Отже, для більшої відстані зв'язку необхідно використання або супутникового зв'язку, або іншого БПЛА в якості ретранслятора.

З рис. 3 випливає, що залежність граничної дальності зв'язку від висоти підйому антени НСУ (в діапазоні 1 – 10 м) слабка, тому висота щогли для установки наземної антени визначається необхідністю зниження впливу багатопроменевості, з урахуванням можливих перешкод на шляху поширення сигналу (рельєф місцевості, забудова).

В таблиці 2 наведено аналіз бюджету каналу зв'язку для робочого діапазону частот

2,4 ГГц, відстань між БПЛА и НСУ 150 км и полоса частот 20 МГц.

Як видно з таблиці 2, для забезпечення енергетичної ефективності каналу зв'язку при великому загасанні сигналу на трасі необхідно використовувати спрямовані антени на борту БПЛА. Завдання управління напрямком максимального посилення бортової антени може бути вирішена декількома способами:

1. Використання багатоеlementної антенної решітки з керованою діаграмою спрямованості;
2. Використання декількох перемикаючих антен;
3. Установка антени на опорно-поворотному пристрої.

Таблиця 2

Аналіз бюджету каналу зв'язку від БПЛА до НСУ

	Підсилення/послаблення дБм	Загалом дБм
Вихідна потужність передавача	+ 30 дБм	+30
Втрати у фідерах та роз'ємах БПЛА	- 1,5 дБ	+28.5
Підсилення антени БПЛА	+ 10 дБі	+38.5
Втрати під час розповсюдженн	- 145 дБ	-106.5
Підсилення антени НСУ	+ 30 дБі	-76.5
Втрати у фідерах та роз'ємах НСУ	- 1,5 дБ	-78
Рівень шуму на вході приймача (полоса		- 100 дБ
Відношення сигнал/шум		+ 22 дБ

Висновки за розділом

В роботі проведено аналіз побудови радіоканалів та запропоновано аналітичну модель розрахунку радіоканалу зв'язку з безпілотним літальним апаратом

військового призначення. Проведений порівняльний аналіз різних видів модуляції та запропонований типовий розрахунок радіоканалу з безпілотним літальним апаратом.

6.СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ.

6.1. DJI Aeroscope

Aeroscope- це комплексна платформа виявлення дронів, яка швидко ідентифікує лінії зв'язку між БПЛА і його пультом управління, збирає інформацію, таку, як статус польоту, маршрути і іншу інформацію в режимі реального часу.

Популярність зростання споживачів дронів створює потенційну небезпеку для аеропортів, в'язниць, атомних електро станцій та інших державних об'єктів. Для запобігання можливим інцидентам DJI Aeroscope здатний ідентифікувати більшість БПЛА аналізуючи їх сигнали. Цей портативний пристрій призначений для тимчасових подій, мобільного розгортання, дозволяє користувачам швидко почати роботу на новому місці. Живиться від вбудованих батарей Т В 50 або від наявного джерела живлення. Використовується в аварійних, надзвичайних ситуаціях за відсутності стаціонарних пристроїв.

Особливості приладу:

- Сканування повітряного простору у радіусі до 20 км на наявність дронів;
- Отримання телеметричних даних БПЛА;
- Для дослідження повітряної обстановки достатньо одного мобільного кейсу;
- Отримання координатів місцезнаходження пілота;
- Перехват керування деякими видами дронів.

Недоліки:

- Локальне застосування з неможливістю керування через інтернет;
- Відсутність можливості автоматичного керування траєкторією польоту одночасно двох и більше БПЛА.

6.2 Диспетчерська система UAS Traffic Management (UTM)

Дана система дозволяє організувати управління безпілотниками в єдиному повітряному просторі. Система складається з центрального сервера з спеціальних пультів, кожен з яких передає на сервер дані про переміщення апаратів. Система дає дозвіл на зліт або корегує маршрути БПЛА.

Ця програма працює в США, Росії та Україні. У ній є офіційні дані про безпілотні зони в країні. З її допомогою плануються і здійснюються польоти згідно з чинними правилами України.

Особливості даного приладу:

- Інформація про повітряну обстановку на великій території;
- Корегування маршрутів в процесі польоту;
- Не потребує встановлення додаткової мережі стаціонарних точок підключення «якщо у пілота є інтернет з'єднання» ;
- Можливість роботи в єдиному повітряному просторі з цивільною авіацією.

Недоліки:

- Необхідність спеціальних пультів керування;
- Не робить польоти повністю автоматичними.

6.3. Автоматизована диспетчерська система у Китаї

У Китаї була запущена автоматизована диспетчерська система АДС для БПЛА у пілотному режимі. Вона дозволяє ідентифікувати судно, схвалити и скорегувати польотний план. Будь який оператор дрону зможе пройти реєстрацію в системі та подати заявку на політ у порталі UTMIS (Unmanned Traffic Management Information Service System). Цей портал передбачає організацію управління не тільки БПЛА, а й іншими пристроями в містах, де реалізована автоматична система, що дозволяє синхронізувати та контролювати роботу усіх електронних засобів під'єднаних до неї. Відомо, що зареєстрованим даним, які надає пілот, система буде обмінюватися

інформацією с іншими системами, що відповідають за польоти цивільної та військової авіації.

Особливості цього приладу:

- Інформація про приблизну повітряну обстановку на великій території;
- Непотребує інтернет з'єднання;

Недоліки:

- Необхідність зазделігідь реєструвати політ;
- Відсутнє корегування маршрутів в процесі польоту;
- Не автоматизує польоти

6.4 Платформа для керування дронами—FlytGCS

З'єднується з безпілотником у інтернет-хмарі, за допомогою надійної платформи FlytBase.

За допомогою цієї системи можна локально організувати польоти дронами на підприємстві. Система не виключає можливості зіткнень с ЛА, які не використовують цю систему.

Особливості цього приладу:

- Точна інформація про повітряну обстановку зареєстрованих БПЛА;
- Не потребує додаткових пристроїв;
- Може записувати дані польоту, відео у інтернет хмару (сховище).

Недоліки:

- Корегує польоти тільки відносно зареєстрованих дронів у цій програмі.

Не виключає можливість зіткнення з іншими незареєстрованими дронами.

6.5 Наземна станція зв'язку с дроном C-BAND

Система передачі даних забезпечує прямий зв'язок між БПЛА і наземною станцією управління, а також інформацію про стан і корисне навантаження дрона на наземну станцію. Подібна система повинна володіти великою швидкістю передачі даних, бути надійною, з точки зору безперебійності зв'язку,

та безпечною, з точки зору збереження конфіденційних даних. Система все ж таки має окремі недоліки: великі габарити та потребує багато часу на приведення в робоче положення, та використання прямого каналу зв'язку між пілотом та БПЛА, що значно затруднює польоти на великі відстані в одну сторону.

Недоліком БПЛА є вразливість систем дистанційного керування, що особливо важливо для БПЛА військового призначення [13] [14] [15].

Висновки за розділом

Диспетчерські системи для БПЛА та їх аналоги у світі інтенсивно розвиваються. Існує різноманіття шляхів їх реалізації. У зв'язку з цим, у світі вони мають багато недоліків: необхідність переобладнання пульта ДК, встановлення сторонніх програм, використання додаткових технічних засобів. Головний недолік- залежність систем від пульта дистанційного управління. Але це не відмінняє необхідність організації стабільного радіозв'язку між дроном та наземним пультом керування.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз побудови радіоканалів зв'язку з безпілотними літальними апаратами військового та цивільного призначення та представлена аналітична модель розрахунку характеристик радіоканалу з БПЛА. Результати розрахунків показують що:

1. Зміна параметрів роботи систем зв'язку з БПЛА, викликана зміною взаємного розташування БПЛА і НСУ і впливом середовища розповсюдження сигналу, призводить до необхідності адаптивної зміни основних параметрів системи (вид модуляції, кодування, швидкість передачі даних і ін.) в залежності від умов проходження сигналу, який дозволяє більш ефективно використовувати енергетичний ресурс каналу зв'язку і багаторазово підвищувати ефективність роботи системи.

2. Дальність зв'язку БПЛА залежить від багатьох факторів, в тому числі висоти польоту БПЛА, потужності передавача БПЛА, чутливості приймача НСУ, типів антен на борту БПЛА і на НСУ, виду модуляції та ін. Для збільшення дальності дії малорозмірних БПЛА необхідно застосовувати енергетично вигідні види модуляції і впровадження до НСУ антен з високим коефіцієнтом посилення. У деяких випадках для забезпечення стійкого зв'язку з віддаленим БПЛА потрібно використовувати інший БПЛА в якості ретранслятора сигналу.

3. Для передачі даних (фотознімків, відео зображень) з БПЛА на наземну станцію управління в реальному часі потрібна велика швидкість передачі. Одним з найбільш ефективних підходів до підвищення швидкості передачі даних з борту БПЛА є застосування модуляції OFDM. Напрямок подальших досліджень щодо впровадження в канали управління та телеметрії завадозахищених методів є формування та обробки сигналів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. В.Слюсар, Радиолинии связи с БПЛА. Примеры реализации / В. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. No 5. С. 56 – 60.
2. Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния / Н. М. Боев, П. В. Шаршавин, И.В. Нигруца // Институт инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВПО „Сибирский федеральный университет”, г. Красноярск. 2015. С. 147 – 159.
3. Bianchi L., Battaini C., Scuzzola G.L., Crovari E. Integrated Data Link for UTA Applications: Design Considerations and Development Results// MARCONI S.p.A, Defence Division – Guided Systems Via Negrone 1 A – 16153 GENOVA ITALY.
4. Barnard J. Small UAV command-control and communication issues// IEEE on communicating with UAV's. 2007. P. 75 – 85.
5. Haas E. Aeronautical channel modeling// IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2002. V. 51. No 2. P. 254 – 264.
6. Richard V.N., Prasad R. OFDM wireless multimedia communication. Artech House Boston London. 2000. – 260 p.
7. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons Ltd. 2010. – 372 p.
8. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом „Вильямс”, 2003. – 1104 с.
9. Боев Н.М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического

университета имени академика М.Ф.Решетнева. Выпуск 2 (42) / гл. ред. д.т.н. Ковалев И.В.

– Красноярск: СибГАУ, 2012. – С.86 – 91.

10. Боев Н.М. Адаптивное изменение параметров цифровых систем связи комплексов

беспилотных летательных аппаратов // 22-я Международная Крымская конференция „СВЧ-

техника и телекоммуникационные технологии”, 10 – 14 сент., 2012 г.: материалы конф.:

в 2 т. Т.1.

11. Civil drones (Unmanned aircraft) [Электронный ресурс] // EASA, Inc. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>

12. U-space [Электронный ресурс] // Digi International Inc. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2019_WAC19_USPACE_BAT.pdf

13. Dji aeroscope [Электронный ресурс] // DJI Inc. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.dji.com/aeroscope>

14. UTM [Электронный ресурс] // skybrary.aero – Режим доступа до ресурсу: [https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aircraft_Systems_Traffic_Management_\(UTM\)_and_Urban_Air_Mobility_\(UAM\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aircraft_Systems_Traffic_Management_(UTM)_and_Urban_Air_Mobility_(UAM))

15. hightech [Электронный ресурс] // hightech.fm – Режим доступа до ресурсу: <https://hightech.fm/2018/07/30/dron-9>

16. FlytGCS [Электронный ресурс] // hightech.fm – Режим доступа до ресурсу: <https://flytgs.live/>

17. C-BAND [Электронный ресурс] // milscint.com – Режим доступа до ресурсу: <http://www.milscint.com/en/new-solution-from-meteksan-defence-for-communication-with-uavs-c-band-data-link-system/>

18. 5G [Электронный ресурс] // Международный союз электросвязи,

ИМТ-2020:– Режим доступу до ресурсу: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020>

19. LTE [Електронний ресурс] //The Mobile Broadband Standard:– Режим доступу до ресурсу: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

20.LoRa [Електронний ресурс] // Wless:– Режим доступу до ресурсу: <http://www.wless.ru/technology/?tech=>

21.Радіомодуль [Електронний ресурс] – Режим доступу:<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/528814/MICROCHIP/MRF49XA-I-ST.html>

22.Контролер [Електронний ресурс] // myrobot:– Режим доступу до ресурсу: https://myrobot.ru/stepbystep/mc_meet.php

23.Системи автоматизованого проектування: Методичні рекомендації до лабораторних робіт./ Уклад Адаменко Ю. Ф. — К: НТУУ «КПІ», 2012. — 84 с.

24.Raspberry Pi [Електронний ресурс] // myrobot:– Режим доступу до ресурсу: <http://www.raspberrypi.org/>

25.Dji [Електронний ресурс] // DJI Inc. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dji.com/>

26.Стяжка Fortisflex [Електронний ресурс] – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://fortisflex.ru/>

27.ardupilot [Електронний ресурс] – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/>

ДОДАТОК А

ДОДАТОК Б

