

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри _____ **В. М. Рябенський**
д.т.н., професор

« ____ » _____ 2020 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Дослідження дальності виявлення приймачем RTL-SDR сигналів
ADS-B повітряних суден при використанні різноманітних антенних систем»

Виконав: студент 6 курсу, групи 6391м
спеціальності 171

«Електроніка»

(шифр і назва спеціальності)

ОПП «Телекомунікаційні системи та мережі»

Свердлик К.В.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник _____ **Іхсанов Ш. М.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____ **Дьяконов О.С.**

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2020 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ННІ автоматики та електротехніки
Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171«Електроніка»
ОПП «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЕЕТ
_____ В. М. Рябенський
« ____ » _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Свердлик Катерині Валеріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження дальності виявлення приймачем RTL-SDR сигналів ADS-B повітряних суден при використанні різноманітних антенних систем»

керівник роботи Іхсанов Шаміль Мухаметович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" жовтня 2020 р. № 1038-УЧ

2. Строк подання студентом роботи листопад 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи Огляд технології ADS-B повітряних суден при використанні різноманітних антенних систем
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
- 4.1. Огляд технології ADS-B
- 4.2. Огляд використовуваних антенних систем і отримані результати
- 4.3. Опис обраних варіантів антен на кафедрі
- 4.4. Отримання експериментальних результатів
- 4.5. Охорона праці та навколишнього середовища
- 4.6. Висновки. Література.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Тубальцев А.М.</i>		

8. Дата видачі завдання « 30 » __ __ 10 ____ 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення та підбір літератури сигналів ADS-B повітряних суден	26.09.2020	
2.	Вибір антен та отримання результатів	30.10.2020	
3.	Характеристики та призначення антен	11.11.2020	
4.	Експериментальна оцінка використання трьох вибраних типів антен	30.11.2020	
5.	Розробка розділу з охорони праці та довкілля	05.12.2020	
6.	Оформлення дипломної роботи	15.12.2020	
7.			
8.			
9.			
10.			

Керівник роботи

(підпис)

Ш. М. Іхсанов

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

К. В. Свердлик

(прізвище та ініціали)

Анотація

У теоретичній частині роботи проведено огляд технології ADS-B забезпечує формування та передачу повідомлень про параметри польоту повітряного судна, а також прийом цих повідомлень наземними службами з метою забезпечення безпеки польотів. Розглянуто можливості технології та загальні принципи роботи.

У другому розділі розглянута загальна інформація про методи передачі повідомлень повітряними судами, їх структура, а також алгоритм виділення сигналів ADS-B з квадратурної інформації приймача.

У третьому розділі наведено короткий огляд антенних систем і їх основних характеристик.

У четвертому розділі описані результати прийому сигналів ADS-B на три види антен (коротка і довга штирові антени і антена «патч»). Показано, що використання антен розглянутих трьох видів, практично еквівалентні і забезпечують прийом сигналів ADS-B з відстані до 100 км при розташуванні в приміщенні (4 поверх). У цьому ж розділі наведені дані про експерименти на кафедрі ПЕЕТ з спрямованої антеною і характеристики літакової станції прийому сигналів ADS-B на базі апаратно-програмного забезпечення сайту FlightAware. Розроблено заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Abstract

At the theoretical part of the work, a review of the ADS-B technology was carried out, which provides the formation and transmission of messages about the flight parameters of an aircraft, as well as the reception of these messages by ground services in order to ensure flight safety. Possibilities of technology and general principles of work are considered.

The second section provides general information on aircraft message transmission methods, their structure, and an algorithm for extracting ADS-B signals from receiver quadrature information.

The third section provides a brief overview of antenna systems and their main characteristics.

The fourth section describes the results of receiving ADS-B signals on three types of antennas (short and long whip antennas and a patch antenna). It is shown that the use of antennas of the considered three types are practically equivalent and provide reception of ADS-B signals from a distance of up to 100 km when located indoors (4th floor). The same section contains data on experiments at the PEET department with a directional antenna and characteristics of an aircraft station for receiving ADS-B signals based on the hardware and software of the FlightAware website.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ADS-B	10
1.1 Типи обладнання ADS-B	13
1.2 Переваги ADS-B	14
1.3 Приклад	15
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ВИКОРИСТОВУВАНИХ АНТЕНИХ СИСТЕМ І ОТРИ- МАНІ РЕЗУЛЬТАТИ	20
2.1 Загальна інформація про методи передачі повідомлення	21
2.2 Структура повідомлень що передаються	22
2.3 Інформація про швидкість повітряного судна	27
2.4 Алгоритм виявлення бортових сигналів повітряних суден ...	33
2.5 Огляд експериментів по прийому бортових сигналів	35
РОЗДІЛ 3. Призначення і характеристики антен	44
3.1 Види антен	45
3.2 Антена штирьова	48
3.3 Антена «патч»	59
3.4 Петлевий вібратор	62
РОЗДІЛ 4. Отримані експериментальні результати	67
РОЗДІЛ 5. Охорона праці	77
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

ВСТУП

Літаки, перебуваючи в повітрі, повідомляють в радіоефір на частоті 1 090 МГц свої поточні координати, швидкість, напрямок, висоту, а також свій позивний, за яким в інтернеті можна знайти інформацію, наприклад тип літака. Причому це інформація відкрита і не шифрується. Це називається ADS-B.

Абревіатура RTL-SDR розшифровується як Real Time Desktop Software Defined Radio – українською перекладається приблизно як «Програмно-конфігурована радіосистема (радіо) реального часу». Насамперед, це приймач, що приймає сигнали в дуже широкому діапазоні частот, а саме від 25 МГц до 1,75 ГГц. Далі прийнятий сигнал переводиться в цифровий по обох квадратурних каналах за допомогою високошвидкісного 8-розрядного АЦП з частотою до 2,8 МГц (частота квантування може бути доведена до 3,2 МГц, проте не рекомендується перевищувати величину 2,8 МГц, оскільки це гарантує відсутність втрат даних). На рисунку 1 зображені деякі види приймача і приймальна антена:

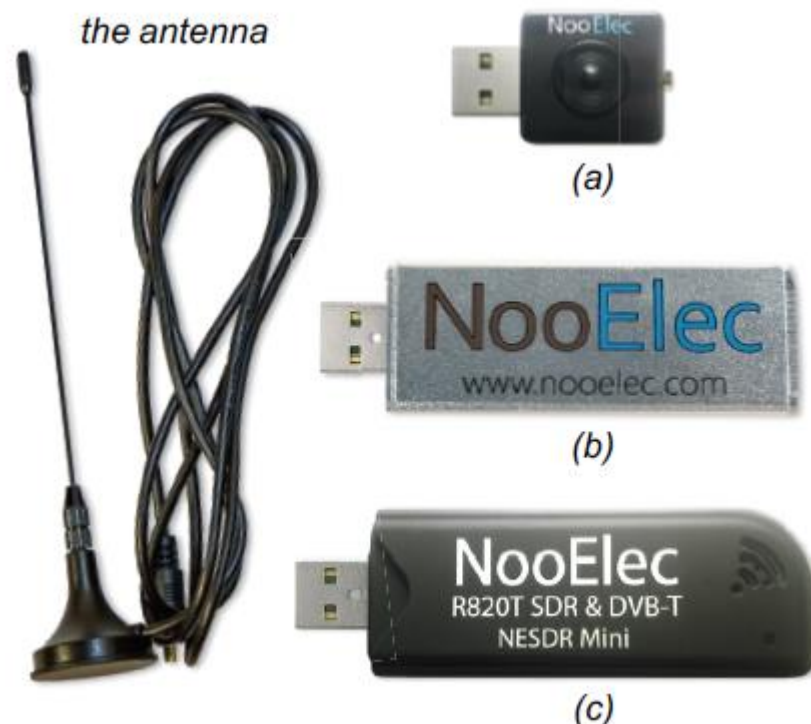


Рис. 1. Деякі види приймача RTL-SDR та антена

Як видно з рисунка, приймач стикується з ПК по USB-порту (USB-2.0).

					171.6391м.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазначені характеристики приймача дозволяють приймати сигнали багатьох служб. На рисунку 2 приведені деякі зі служб Великобританії (приблизно таке ж завантаження частот використовується на території України та Росії), радіосигнали яких можуть бути прийняті на приймач RTL-SDR:

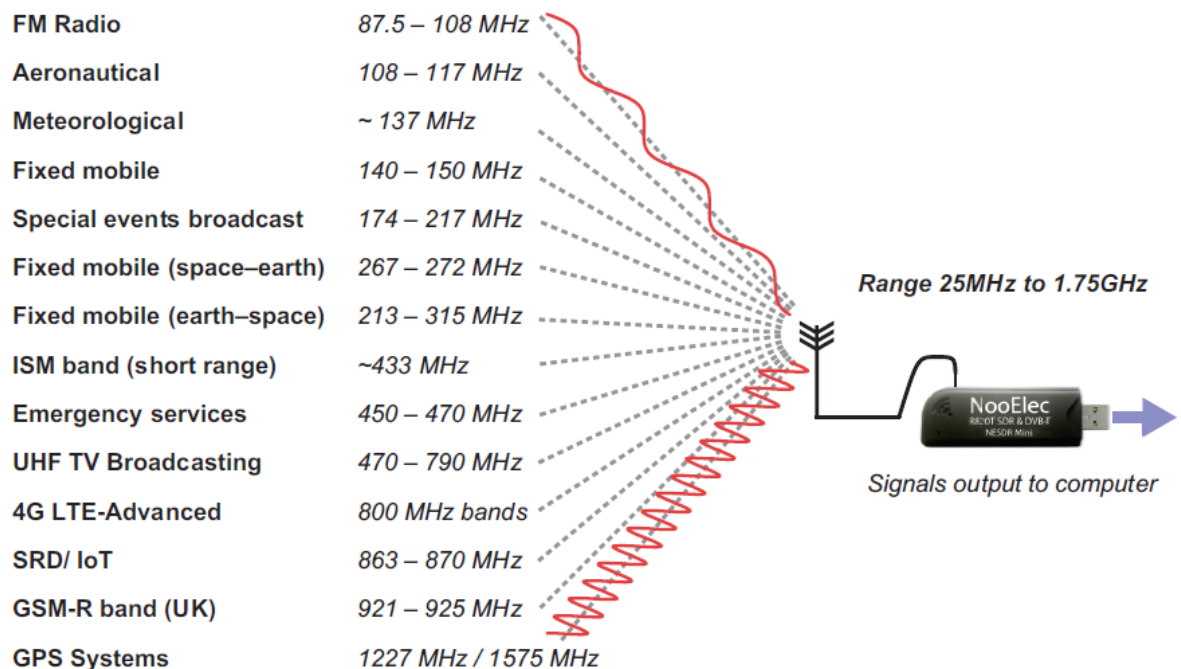


Рис. 2. Служби Великобританії, радіосигнали яких можуть бути прийняті на приймач RTL-SDR

Після установки драйверів приймача і забезпечення можливості подачі сигналів приймача в MATLAB ми можемо починати аналізувати програми по обробці різних сигналів.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата	Огляд технології ADS-B	Лім.	Арк.	Аркушів
Студент		Свердлик К.В.					10	19
Консульт.		Тубальцев А.М.						
Н. контр.								
Керівник		Іхсанов Ш. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.				НУК ім. адмірала Макарова		

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ADS-B

Автоматичне залежне спостереження - ширококомовна передача

(ADS - B) - це технологія спостереження, при якій літак визначає своє місце розташування за допомогою супутникової навігації або інших датчиків і періодично передає його в ефір, що дозволяє відстежувати його. Інформація може бути отримана наземними станціями управління повітряним рухом в якості заміни вторинного оглядового радара, так як сигнал запиту з землі не потрібно. Він також може бути отриманий іншими літаками для забезпечення ситуаційної обізнаності та забезпечення можливості самовідокремлення.



Рис. 1 – Портативний приймач ADS-B Garmin GDL – 50

ADS - B є «автоматичним» в тому сенсі, що не вимагає пілотного або зовнішнього введення. Він «залежний» в тому сенсі, що залежить від даних навігаційної системи літака. ADS - B реєструється в різних юрисдикціях по всьому світу. Це елемент системи повітряного транспорту США нового покоління (NextGen), планів модернізації Управління аеропортів Індії відповідно до Ініціативами Глобального плану ІКАО і блокової модернізації авіаційної системи (ASBU), а також дослідницького проекту ОрПР єдиного європейського неба (SESAR). Устаткування ADS - B є обов'язковим для повітряних суден категорії правил польотів за приладами (IFR) в повітряному просторі Австралії; Сполучені Штати вимагають, щоб багато повітряні судна (включаючи всі комерційні пасажирські перевізники і літаки, що виконують рейси в районах, де був потрібний транспондер) були оснащені

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

таким обладнанням з січня 2020 року; крім того, це обладнання є обов'язковим для деяких літаків в Європі з 2017 року. Канада використовує ADS - B для спостереження у віддалених регіонах, не охоплених традиційним радаром (райони навколо Гудзонової затоки, Лабрадорського моря, протоки Девіса, Баффінова затоки і південної частини Гренландії), оскільки 15 січня 2009 р експлуатанта повітряних суден рекомендується встановлювати продукти ADS - B , які сумісні з європейськими та американськими стандартами, а канадські авіадиспетчери можуть надавати більш ефективні і економічні маршрути польоту, коли оператори можуть відслідковуватися через ADS - B.

ADS-B, який складається з двох різних служб, «ADS-B Out» і «ADS-B In», може замінити радар в якості основного методу спостереження для управління повітряними судами в усьому світі. У Сполучених Штатах ADS-B є невід'ємним компонентом національної стратегії повітряного простору NextGen для модернізації і поліпшення авіаційної інфраструктури та операцій. Також в Сполучених Штатах система ADS-B може безкоштовно надавати графічну інформацію про погоду на дорогах і уряді через додатки TIS-B і FIS-B. ADS-B підвищує безпеку, роблячи літак видимим в режимі реального часу для органів управління повітряним рухом (УВС) і інших відповідним чином обладнаних літаків ADS-B з передачею даних про місцезнаходження і швидкості кожен секунду. Дані ADS-B можуть бути записані і завантажені для аналізу після польоту. ADS-B також надає інфраструктуру даних для недорогого відстеження, планування і відправки рейсів. Використовуючи "ADS-B Out", кожен літак періодично передає інформацію про себе, таку як упізнання, поточне місце розташування, висоту і швидкість, через бортовий передавач. ADS-B Out надає авіадиспетчерів інформацію про місцезнаходження в реальному часі, яка в більшості випадків є більш точною, ніж інформація, доступна в існуючих радіолокаційних системах. Маючи більш точну інформацію, УВС зможе визначати місце розташування і розділяти повітряні судна з підвищеною точністю і синхронізацією. «ADS-B In» - це прийом літаком даних FIS-B і TIS-B, а також інших даних ADS-B, таких як прямий зв'язок з довколишніми літаками. Радіомов

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ні дані наземної станції зазвичай доступні тільки в присутності повітряного судна, передає ADS-B Out, що обмежує корисність пристроїв, що використовують тільки ADS-B In. Система спирається на два компонента авіоніки на борту кожного повітряного судна: джерело супутникової навігації з високим ступенем цілісності (наприклад, GPS або інший сертифікований приймач GNSS) і канал передачі даних (блок ADS-B). Існує кілька типів сертифікованих каналів передачі даних ADS-B, але найбільш поширені з них працюють на частоті 1090 МГц, в основному модифікованому транспондері режиму S, або на частоті 978 МГц. FAA хотіло б, щоб літаки, які працюють виключно на глибині менше 18 000 футів (5 500 м), використовували лінію зв'язку 978 МГц, оскільки це зменшить перевантаження на частоті 1090 МГц. Щоб отримати можливість виходу ADS-B на частоті 1090 МГц, користувачі-оператори можуть встановити новий транспондер або модифікувати існуючий транспондер, якщо виробник пропонує оновлення ADS-B (плюс встановити сертифікований джерело розташування GNSS, якщо він ще не присутній). Автоматичне залежне спостереження.

1.1 Типи обладнання ADS-B

ADS-B приймачі (ADS-B IN) - ці пристрої приймають дані ADS-B, але не можуть передавати дані іншим літакам або наземним станціям.

Приймач отримує як інформацію про рух суден так і погодні інформацію. В даний час FAA обмежило роботу системи ADS-B так, що наземні станції передаватимуть дані трафіку (включаючи дані звичайних радарів) тільки тоді, коли приймуть інформацію хоча б від одного ADS-B передавача (транспондера) літака, переданого в радіусі обслуговування.

Таким чином, літак, обладнаний тільки ADS-B приймачем, може і не "бачити" дані трафіку, якщо інші літаки в зоні обслуговування також не обладнані ADS-B транспондерами і не передавали дані ADS-B.

Погодна ж інформація завжди передається наземними станціями і завжди доступна для прийому через ADS-B приймач в зоні дії.

ADS-B трансмітери (ADS-B OUT) - цей клас пристроїв може передавати ADS-B дані. Трансмітери також можуть "будити

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

" FAA ADS-B наземні станції і перемикачі їх в режим передачі трафіку повітряним судам в зоні їх дії. ADS-B пристрої, здатні передавати положення ВС і шлях прольоту повинні бути сертифіковані FAA.

ADS-B транспондери - це клас пристроїв, здатних як передавати так і приймати ADS-B дані. ADS-B транспондери можуть "будити" FAA ADS-B наземні станції і перемикачі їх в режим передачі трафіку повітряним судам в зоні їх дії. ADS-B пристрої, здатні передавати положення ВС і шлях прольоту повинні бути сертифіковані FAA.

1.2 Переваги ADS-B

З ADS-B пілоти бачать на екранах в кабіні інформацію про рух літаків в такому ж вигляді, як і диспетчерів на екранах. Це сильно покращує володіння обстановкою пілотами, так як вони знають своє становище щодо інших повітряних суден, отримують інформацію про погіршення погоди та інформацію про складній місцевості.

ADS-B забезпечує великий запас по виявленню конфліктів в даних, оскільки ефективна дальність дії складає більше 100 миль.

Пілоти ВС можуть бачити розташування, курс, швидкість і висоту інших повітряних суден

ADS-B дає пілотам такі сервіси як графічне відображення погодних умов і текстові польотні рекомендації при собівартості більш низьке ніж була раніше, і без платних підписок на подібні послуги.

1.3 Приклад

Характеристики:

Посилення: 9 dBi

KCB (SWR): 1.5: 1 або менше на центральній частоті

Діаграма: Всеспрямована

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

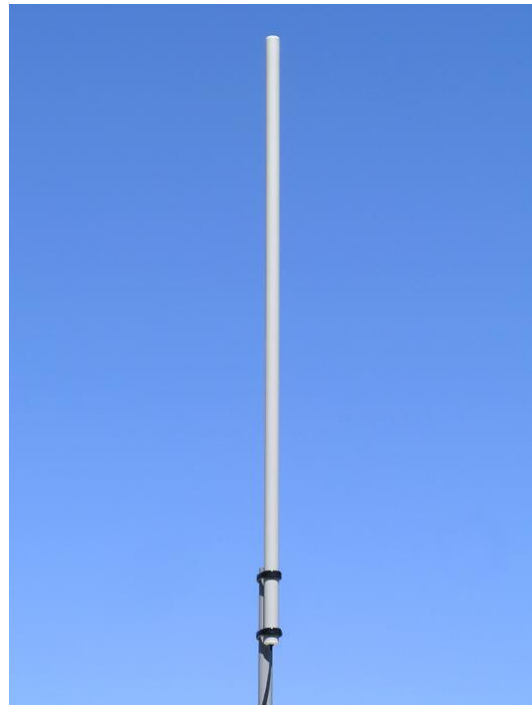


Рис. 1.3.1 Антена ADS-B (SBS / RadarBox)Vertical Outdoor Model от
DPD Productions

Довжина хвилі: Multiple 1/2

Налаштована на: 1090 MHz

Діапазон: Mode-S / ADS-B

Конектор: N Female

Кабель: RG8X

Cable Length: 12 Inches

Висота: 1,45м (57 ")

Товщина: 3 см (1 1/4 ")

Вага: 0,5 кг (1 lb 11oz)

Вітрова площа: 0,15 кв.м (0.50 Sq Feet)

Повністю готова до установки: Додатковий дій по збірці не потрібно, додаткових матеріалів для установки не потрібно.

Налаштована для Mode-S / ADS-B: ця антена, спроектована для прийому Mode-S / ADS-B, для використання з приймачами SBS-1/2 або RadarBox і ін., Спеціально налаштована на частоту 1090 MHz.

Не потрібно металеву основу: (напр. Дах) для цієї антени. Це не GP антена.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Конструктивно закрита: Антени елементи і точка підключення поміщені всередину УФ захищеної пластикової труби. Не треба турбуватися про корозії елементів. Цей дизайн також допомагає позбутися від статички, створюваної вітром і опадами.

Захисне виконання від погодних умов: Оскільки всі антенні елементи і точка підключення укладені в пластикову трубу, антена захищена від зовнішніх впливів, що виключає їх вплив на характеристики антени. Антена захищена від вітрових навантажень, снігу, і працює в будь-яких умовах.

Латунні елементи: Внутрішні елементи антени виконані з латуні, що краще ніж нержавіюча сталь.

Вузька смуга пропускання: Смуга пропускання антени вузько налаштована, що захищає приймач від інтермодуляційних перешкод в міських умовах, насичених сильними сигналами і перешкодами.

Високоякісний N Конектор: На відміну від звичайно використовуваних на UHF діапазоні конекторів, ця антена має роз'єм 50 ом мама N конектор в точці підключення. N конектори більш вологозахищені і мають менші втрати на ВЧ.

Примітка: Оскільки робоча частота дуже висока, і можливі великі втрати в кабелі, дуже рекомендується використовувати кабель типорозміром RG8.

Кріплення антени додаються: установка йде на звичайну трубу.

RADAR-EXTENDER External antenna for RadarBox & SBS-1

Базова антена 'Radar-Extender' для Kinetic Avionics SBS-1 і Airnav Systems RadarBox, а також інших приймачів.

Частота: 1090MHz Aircraft Transponder Frequency.

Спроектowana для: MODE-S і ADS-B aircraft data reception

Посилення: 6.3dBi

Імпеданс: 50 Ohms

Довжина: 1.3m

Вага: 800g

Конектор: N типу

Діаметр: 25-40mm

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустима швидкість вітру до: 60m / s

Безпека: ADS-B робить політ значно безпечніше для авіаційної спільноти, надаючи пілотам поліпшену ситуаційну обізнаність. Пілоти в кабіні, оснащеної ADS-B In, матимуть можливість бачити на своєму бортовому дисплеї інші повітряні потоки, що діють в повітряному просторі, а також отримувати чітку і детальну інформацію про погоду. Вони також зможуть отримувати відповідні оновлення, починаючи від тимчасових обмежень на польоти і закінчуючи закриттям злітно-посадкових смуг.

ADS-B забезпечує підвищену безпеку:

- Радіолокаційне ешелонування по ППП в НЕ радіолокаційному повітряному просторі;
- Збільшений політ за ПВП після покриття;
- УВС кінцевий етап заходу на посадку і зайнятість ЗПС, скорочення несанкціонованого виїзду на ЗПС;
- Точніше пошуково-рятувальне реагування - хоча ADS-B може передавати дані про збої літака, FAA заявило, що немає наміру проводити навіть дослідження ефективності ADS-B в ситуації збою літака, просто на основі той факт, що обладнання ADS-B не вимагає ударопрочності в порівнянні з нинішнім рекордером типу «чорний ящик». ADS-B був продемонстрований громадянської повітряної патрульної службі (CAP) в березні 2003 року компанією AOPA допомогою льотних демонстрацій для можливої інтеграції цієї технології в діяльність CAP. ;
- Кінцевий етап заходу на посадку в кабіні екіпажу і зайнятість ЗПС;
- Візуальне поділ в умовах VFR і MVFR;
- Відображення погоди в кабіні в реальному часі;
- Відображення повітряного простору в кабіні в реальному часі.

Ефективність: технологія ADS-B забезпечує більш точний звіт про місцезнаходження літака. Це дозволяє диспетчерам направляти повітряні судна в і з пе-

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

реповненого повітряного простору з меншими стандартами ешелонування, ніж це було раніше безпечно. Це скорочує кількість часу, яке повітряне судно повинно витратити на очікування дозволів, напрямок на інтервали і очікування. Оцінки показують, що це вже робить благотворний вплив на скорочення забруднення і витрати палива.

Поліпшення пропускної здатності:

ADS-B дозволяє збільшити пропускну здатність і ефективність, підтримуючи:

- Краще управління потоком трафіку UVC
- Злиття і інтервал
- Самостійне поділ або утримання на станції
- Покращені візуальні підходи;
- Близько розташовані паралельні підходи;
- Зменшений інтервал на кінцевому заході;
- Зменшення ешелонування літаків;
- Розширені операції в повітряному просторі на великій висоті для поступового розвитку концепції «вільного польоту»;
- Надводні операції в умовах обмеженої видимості;
- Можливості візуальних метеорологічних умов (VMC) в повітряному просторі в більшості погодних умов;
- Поліпшення обслуговування повітряного руху в НЕ радарної повітряному просторі;
- Операції на основі траєкторії, що забезпечують плавний висхідний і спадний градієнт без необхідності в спусках або утриманні. Це створить оптимальні траєкторії, при яких кожен літак стане одним вузлом в загальносистемної мережі управління інформацією, що з'єднує всі екіпіровані боку в повітрі і на землі. Завдяки тому, що всі сторони будуть оснащені обладнанням NextGen, переваги будуть включати скорочення часу проїзду від воріт до воріт, збільшення пропускної спроможності злітно-посадкової смуги і підвищення ефективності зі збереженням вуглецю;

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Використання ADS-B і CDTI може дозволити зменшити інтервал заходу на посадку в деяких аеропортах для підвищення пропускної здатності при виконанні операцій в умовах обмеженої видимості, коли операції візуального заходу на посадку зазвичай припиняються (наприклад, стелі нижче MVA +500.

Запобігання зіткнень в повітрі: ADS-B розглядається як цінна технологія для поліпшення роботи бортових систем запобігання зіткнень (БСПС). Включення ADS-B може дати такі переваги, як:

- Зменшення кількості активних запитів, необхідних для БСПС, що збільшує ефективну дальність дії в повітряному просторі з високою щільністю руху;
- Зниження кількості непотрібних тривог за рахунок включення вектора стану ADS-B, наміри повітряного судна та іншої інформації;
- Використання дисплея БСПС як CDTI, що забезпечує точну ідентифікацію трафіку;

Розширення системи запобігання зіткнень нижче 1000 футів над рівнем землі і виявлення несанкціонованих виїздів на ЗПС

Висновки до розділу 1.

Система має можливість забезпечити пілотів доступом до докладної інформації про повітряний рух, ADS-B також є «крок вперед» в експериментальному напрямку збільшення ситуаційної обізнаності та значно підвищить безпеку всіх ВС, що знаходяться в повітрі.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					171.6391м.КР.ПЗ.Р2							
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата								
Студент		Свердлик К.В.			Огляд використовуваних антенних систем і отримані результати				Літ.		Арк.	Аркуші
Консульт.		Тубальцев А.М.									20	19
Н. контр.									НУК ім. адмірала Макарова			
Керівник		Іхсанов Ш. М.										
Зав. каф.		Рябенський В. М.										

РОЗДІЛ 2_ОГЛЯД ВИКОРИСТОВУВАНИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ І ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

2.1. Загальна інформація про методи передачі повідомлень повітряними суднами

В даний час для спостереження за рухом повітряних суден з хорошою точністю (близько 30 м за місцем розташування) використовується технологія ADS-B – (automatic dependent surveillance-broadcast, у перекладі українською: радіомовне автоматичне залежне спостереження).

Незалежно від надходження запиту від наземного радару, кілька разів на секунду літаком передається коротке або розширене повідомлення (замість терміна «повідомлення» використовується також термін «сквіттер» — «squitter»).

Інформація завжди передається на частоті 1090 МГц з використанням амплітудної модуляції. Час передачі одного інформаційного біта складає 1 мкс. Одна послідовність складається з 56 або 112 бітів даних. Послідовність починається з синхроімпульсу (преамбули) тривалістю 8 мкс, і потім проходить інформаційна частина. Значення біта «0» передається відсутністю випромінювання на першій половині мікросекунди і наявністю його у другій половині, значення біта «1» — навпаки, наявністю в першій половині і відсутністю сигналу у другій половині. Загальна схема передачі наведена на рис. 2.1:

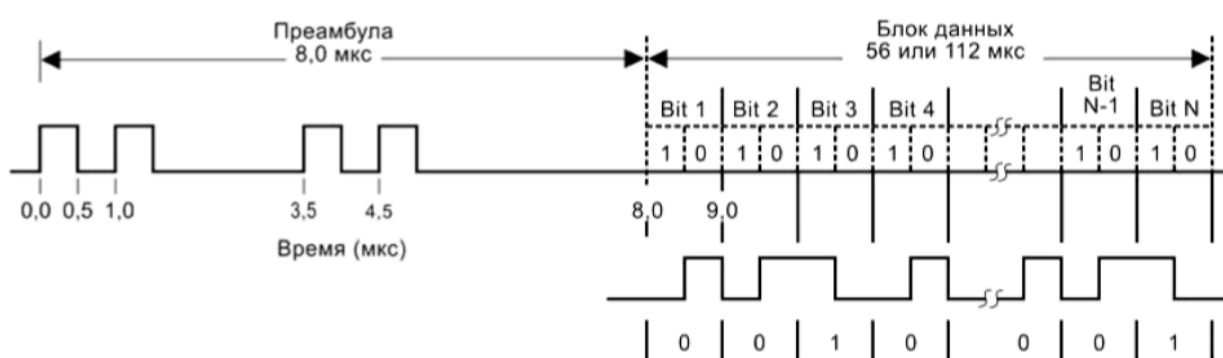


Рис. 2.1. Загальна схема передачі повідомлення в технології ADS-B

56 бітів короткого повідомлення розподіляються наступним чином: 5 бітів — номер формату, потім йдуть 27 інформаційних бітів, ці 32 біта закриваються 24-бітним кодом CRC (рис. 2.2):



Рис. 2.2. Структура короткого повідомлення

Довге повідомлення відрізняється від короткого тим, що інформаційних бітів стає 83 (рис. 2.3).

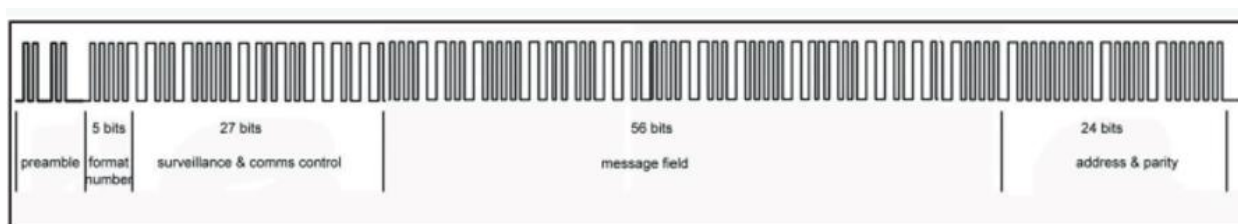


Рис. 2.3. Структура довгого повідомлення

Перераховані параметри передачі інформації відносяться до режиму Mode-S (режими Mode-A і Mode-C використовуються для зв'язку з наземними службами).

2.2. Структура повідомлень, що передаються

Найбільш повний опис інформації, що передається наведено в [3,4]. Для довгого повідомлення номер формату дорівнює **10001** у двійковому поданні, для короткого – **01011**. У десятковому поданні $DF = 17$ і $DF = 11$. Наступні 3 біта несуть додаткову інформацію, зміст якої може змінюватися в залежності від конкретної системи, і рівні зазвичай **101** або **111**. Таким чином, 8 бітів повного формату можуть бути рівними або **8D**, або **8F** у шістнадцятковому поданні для довгого повідомлення і **5D** або **5F** – для короткого.

Коротке повідомлення містить тільки номер судна у відповідності з реєстрацією ICAO (International Civil Aviation Organization – Міжнародна організація цивільної авіації), який передається відразу за форматом (біти **9-32**, відповідно півбайти **3-8**). Номер ICAO у документах завжди записується в 16-ковому вигляді.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

У довгому повідомленні номер ICAO передається на цих же позиціях, але структура повідомлення є значно складнішою. Воно може містити інформацію про розташування судна відносно поверхні землі або швидкісні характеристики борту або номер рейсу. Висота польоту видається як по барометру, так і за даними GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Все повідомлення можна поділити на 5 інформаційних груп (таблиця 2.1):

Таблиця 2.1

Номера бітів повідомлення	Кількість бітів	Умовне позначення	Передана інформація
1-5	5	DF	Формат типу зв'язку (Downlink format, для ADS-B Mode-S 10001 або 10011)
6-8	3	CA	(Capability – additional identifier)
9-32	24	ICAO	Номер борту за реєстрацією ICAO (ICAO aircraft address)
33-88	56	DATA	Дані (Data)
89-112	24	PI	Код CRC-24 (Parity/Interrogator ID)

Для визначення типу повідомлення використовуються біти з 33 по 37 (9-ий півбайт і старший біт 10-го півбайта), відповідність значень яких конкретним типам повідомлень задається таблицею 2.2:

Таблиця 2.2

Значення бітів з 33 по 37	Інформація, що надходить
---------------------------	--------------------------

Від 00001 до 00100	Номер рейсу (Flight identification)
Від 00101 до 01000	Немає опису (Surface position)
Від 01001 до 10010	Географічні координати та висота за барометром (Airborne position – w/Baro Altitude)
10011	Швидкісні характеристики (Airborne velocities)
Від 10100 до 10110	Географічні координати та висота за даними GNSS (Airborne position – w/GNSS Height)
Від 10111 до 11111	Резерв для інших потреб (Reserved for other uses)

У бібліотеці файлів відзначеної книги [2] наведена з відкритим кодом програма **ADSBAirplaneTrackingwithRTLSDR**, яка дозволяє отримувати і декодувати повідомлення від повітряних суден, що пролітають в радіусі до 100 км. Зону прийому бортових сигналів у Миколаєві щодня перетинає більше 2 десятків повітряних суден.

Докладно розглянемо, яким чином передається номер рейсу на прикладі повідомлення, виданого 27 квітня 2017 року:

Time = 19:30:36

Decoded Message = 8D4BB84623407534CB7820 (код CRC видалено)

AircraftID = 4BB846

FlightID = PGT427

Бачимо, що номер ІСАО присутній в явному вигляді. Починаючи з 33 розряду, в двійковому вигляді повідомлення виглядає наступним чином:

00100 011 010000 000111 010100 110100 110010 110111 100000 100000

Бачимо, що передається номер рейсу. Далі слідує 3 біта, що несуть інформацію про тип борту (важкий, великий, маленький, легкий, планер і т. д., розшифровка в відсутня). Решта бітів розбиваються по 6 і несуть інформацію у відповідності з наступним кодуванням літерів:

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Латинські літери **A – Z** десятковий код **1 – 26**, цифри **0 - 9**: код **48 – 57**, пробіл – код **32**.

В десятковому вигляді шістки бітів мають значення:

16 7 20 52 50 55 32 32, що відповідає номеру рейсу **PGT427**.

Зазначимо, що за обома номерами сайт **flightradar24.com** видає додаткову інформацію про повітряне судно та рейс. Введення номера рейсу PGT427 дозволяє дізнатися, що це рейс турецької авіакомпанії Pegasus Air lines Харків – Стамбул, який значиться тепер під номером PC427 (мабуть, відбувся перехід на нову нумерацію рейсів, але бортові передавачі залишилися на старій нумерації) (рис. 2.4):

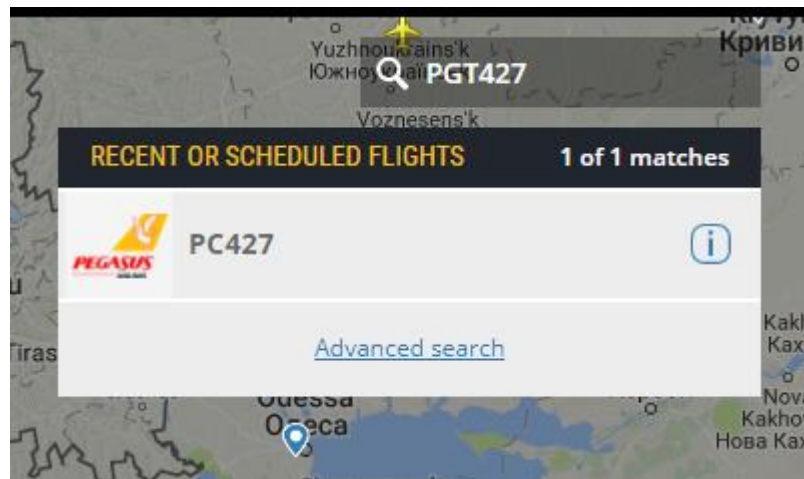


Рис. 2.4. Відповідність номера рейсу, що передається в режимі Mode-S номеру рейсу в розкладі польотів

Також можна довідатися про інформацію щодо майбутніх і раніше виконаних польотів з цього рейсу (рис. 2.5):

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Flight history for Pegasus Airlines flight PC427

DATE	FROM	TO	AIRCRAFT	FLIGHT TIME	STD	ATD	STA
19 Nov	Kharkiv (HRK)	Istanbul (SAW)	738	-	4:40 PM	-	7:55 PM
17 Nov	Kharkiv (HRK)	Istanbul (SAW)	738	-	4:40 PM	-	7:55 PM
16 Nov	Kharkiv (HRK)	Istanbul (SAW)	738	-	4:40 PM	-	7:55 PM
14 Nov	Kharkiv (HRK)	Istanbul (SAW)	738	-	4:40 PM	-	7:55 PM
12 Nov	Kharkiv (HRK)	Istanbul (SAW)	738	-	4:40 PM	-	7:55 PM
10 Nov	Kharkiv (HRK)	Istanbul (SAW)	B738 (TC-CPB)	1:55	4:40 PM	5:03 PM	7:55 PM

Рис. 2.5. Розклад польотів за маршрутом PGT427 (PC427)

Після введення номера борту дізнаємося, що судно літає з Туреччини в різні міста світу (рис. 2.6):

Flight history for aircraft - TC-NBF								
AIRCRAFT	Airbus A320-251N		TYPE CODE	A20N	MODE S	4BB846		
AIRLINE	Pegasus Airlines		Code	PC / PGT	SERIAL NUMBER (MSN)			
OPERATOR	Pegasus Airlines		Code	PC / PGT	AGE			
			Code	PC / PGT				
DATE	FROM	TO	FLIGHT	FLIGHT TIME	STD	ATD	STA	STATUS
03 Dec	Istanbul (SAW)	Antakya (HTY)	PC4134	-	10:20 AM	11:24 AM	12:00 PM	Delayed 12:40 PM
03 Dec	Adana (ADA)	Istanbul (SAW)	PC2081	1:13	8:55 AM	9:11 AM	10:25 AM	Landed 10:25 AM
03 Dec	Istanbul (SAW)	Adana (ADA)	PC2080	1:07	6:50 AM	7:07 AM	8:20 AM	Landed 8:14 AM
02 Dec	Brussels (CRL)	Istanbul (SAW)	PC804	3:06	3:50 PM	4:21 PM	9:15 PM	Landed 9:27 PM
02 Dec	Istanbul (SAW)	Brussels (CRL)	PC803	3:03	1:35 PM	2:01 PM	3:10 PM	Landed 3:05 PM
02 Dec	Erzurum (ERZ)	Istanbul (SAW)	PC2553	2:00	11:00 AM	11:00 AM	12:55 PM	Landed 1:00 PM
02 Dec	Istanbul (SAW)	Erzurum (ERZ)	PC2552	1:31	8:45 AM	9:03 AM	10:35 AM	Landed 10:35 AM
02 Dec	Samsun (SZF)	Istanbul (SAW)	PC2797	1:09	6:50 AM	6:50 AM	8:15 AM	Landed 8:00 AM

Рис. 2.6. Розклад польотів борту 4BB846 (TC-NBF)

Також можна побачити траєкторію польоту рейсу при отриманні повідомлень. Видно, що політ проходив дуже близько над Миколаєвом (рис. 2.7):

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

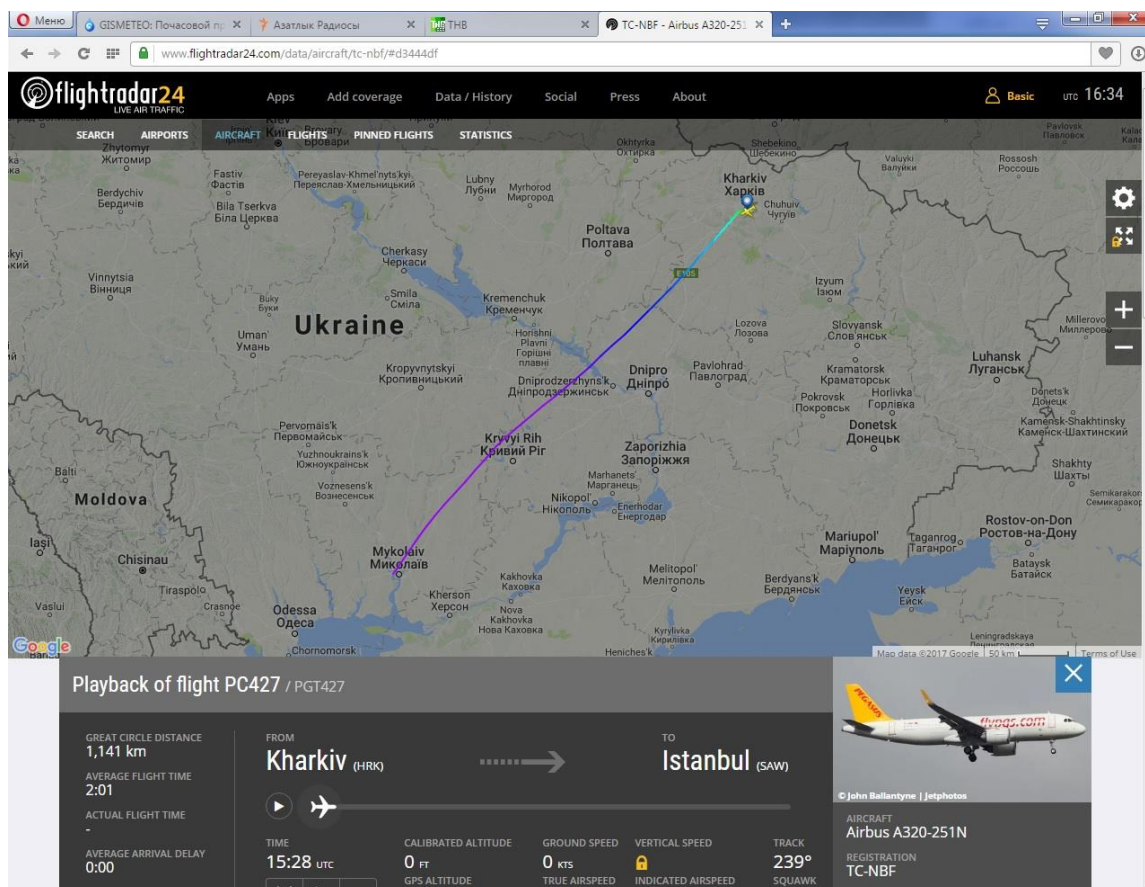


Рис. 2.7. Маршрут польоту рейсу PGT427 27 квітня 2017 року

2.3. Інформація про швидкість повітряного судна

Згідно з таблицею 2.2. тип повідомлення, що містить швидкісні характеристики судна, дорівнює 10011 або 19 в десятковому поданні. Ці повідомлення можуть бути 4 підтипів, при підтипі 1 і 2 передається швидкість щодо Землі (surface velocity ground or speed), при підтипі 3 і 4 передається повітряна швидкість (airspeed). Причому підтипи 2 і 4 призначені для надзвукових літаків, і їх структурою найближчим часом можна не цікавитися. В [2] зазначається, що повідомлення 3-го підтипу складають всього 0.3% від повідомлень 1-го типу. Підтип передається в бітах 38-40. Розміщення численних складових вектору швидкості для підтипу 1 наведено в таблиці 2.4:

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4

Номери бі- тів повідо- млення	Кіль- кість бітів	Умовне поз- начення	Інформація, що передається
33-37	5	TC	Тип повідомлення (Type code)
38-40	3	ST	Підтип повідомлення (Subtype)
41	1	IC	Прапор зміни наміру (Intent change flag)
42	1	RESV_A	Резерв (Reserved-A)
43-45	3	NAC	Невизначеність швидкості (Velocity uncertainty – NAC)
46	1	S_ew	Знак швидкості в напрямку Схід-Захід (East-West velocity sign)
47-56	10	V_ew	Швидкість у напрямку Схід-Захід (East-West velocity)
57	1	S_ns	Знак швидкості в напрямку Північ-Південь (North-South velocity sign)
58-67	10	V_ns	Швидкість у напрямку Північ-Південь (North-South velocity)
68	1	VrSrc	Метод отримання вертикальної швидкості (Vertical rate source)
69	1	S_vr	Знак вертикальної швидкості (Vertical rate sign)
70-78	9	Vr	Вертикальна швидкість (Vertical rate)
79-80	2	RESV_B	Резерв (Reserved-B)
81	1	S_Dif	Відмінність від даних по барометру, знак

Номери бі- тів повідо- млення	Кіль- кість бітів	Умовне поз- начення	Інформація, що передається
			(Diff from baro alt, sign)
82-88	7	Diff	Відмінність від даних по барометру (Diff from baro alt)

З наведеної таблиці ми бачимо, що вектор швидкості розкладений на компоненти Північ-Південь і Схід-Захід. Знак швидкості **S_{ns}=1** означає політ з Півночі на Південь, **S_{ns}=0** – політ з Півдня на Північ, аналогічно, **S_{ew}=1** – політ зі Сходу на Захід, **S_{ew}=0** – політ із Заходу на Схід.

Обчислення вектора горизонтальної швидкості здійснюється за такими формулами:

$$V_{we} = \begin{cases} -1 \cdot (V_{ew} - 1) & \text{if } s_{ew} = 1; \\ V_{ew} - 1 & \text{if } s_{ew} = 0; \end{cases}$$

$$V_{sn} = \begin{cases} -1 \cdot (V_{ns} - 1) & \text{if } s_{ns} = 1; \\ V_{ns} - 1 & \text{if } s_{ns} = 0; \end{cases}$$

$$v = \sqrt{V_{we}^2 + V_{sn}^2};$$

$$h = \arctan2(V_{we}, V_{sn}) \cdot \frac{360}{2\pi} (deg);$$

$$h = h + 360 \text{ if } h < 0.$$

Швидкість вимірюється у вузлах (1 вузол = 1,852 км/год), напрям швидкості *h* – в градусах, **arctan2()** – відома функція, реалізована в багатьох програмних середовищах [5].

Вертикальну швидкість прийнято міряти в футах/хвилину, і вона пов'язана з прийнятим значенням простою формулою:

$$V_r(\text{футів/хв}) = (V_r \text{ bits} - 1) \cdot 64.$$

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Якщо **s_vr=1**, судно збільшує висоту польоту, інакше – зменшує.

Розряд **VrSrc** визначає метод вимірювання вертикальної швидкості, якщо **VrSrc=1**, то швидкість отримана вимірами геометричної висоти, інакше – вимірами висоти по барометру.

У разі якщо швидкість щодо Землі недоступна, у повідомленнях борту передається повітряна швидкість. Підтип повідомлення, як зазначалося вище, при цьому дорівнює 3. Розміщення складових цієї швидкості багато в чому аналогічні підтипу 1 і наведені в таблиці 2.5:

Таблиця 2.5

Номери бітів повідомлення	Кількість бітів	Умовне позначення	Інформація, що передається
33-37	5	TC	Тип повідомлення (Type code)
38-40	3	ST	Підтип повідомлення (Subtype)
41	1	IC	Прапор зміни наміру (Intent change flag)
42	1	RESV_A	Резерв (Reserved-A)
43-45	3	NAC	Невизначеність швидкості (Velocity uncertainty – NAC)
46	1	S_hdg	Статус напрямку польоту (Heading status)
47-56	10	Hdg	Напрямок польоту – пропорція (Heading – proportion)
57	1	AS-t	Тип повітряної швидкості (Airspeed Type)
58-67	10	AS	Повітряна швидкість (Airspeed)
68	1	VrSrc	Метод отримання вертикальної швидкості

Номери бі- тів повідо- влення	Кіль- кість бітів	Умовне поз- начення	Інформація, що передається
			ті (Vertical rate source)
69	1	s_vr	Знак вертикальної швидкості (Vertical rate sign)
70-78	9	vr	Вертикальна швидкість (Vertical rate)
79-80	2	RESV_B	Резерв (Reserved-B)
81	1	s_Dif	Відмінність від даних по барометру, знак (Diff from baro alt, sign)
82-88	7	dif	Відмінність від даних по барометру (Diff from baro alt)

Розряд **s_hdg=1** показує доступність даних по напрямку польоту, і їх можна перевести в градуси за формулою:

$$heading = Decimal(Hdg)/1024 \cdot 360^{\circ}.$$

Повітряна швидкість може бути двох типів: індикаторна (Indicated airspeed – IAS), що зчитується безпосередньо з індикатора, і справжня (true airspeed – TAS), щодо повітряних мас навколо літака. При **as-t=0** передається індикаторна швидкість. Значення швидкості у вузлах виходить простим перекладом в десяткову систему 10 бітів значення **as**.

Обчислення вертикальної швидкості залишається таким же, як і для підтипу 1.

На закінчення розділу зазначимо, що у повідомленні також доступна точність вимірювання параметрів руху літака. Для цього використовуються служби навігаційної системи GPS:

- NIC – Navigation Integrity Category – цілісність коду навігації;
- NAC – Navigation Accuracy Category – точність коду навігації.

Наприклад, у даних про місцезнаходження судна в таблиці 2.3 є розряд **NICsb**, який разом з типом повідомлення **TC** показує точність вимірювань в метрах (таблиця 2.6):

Таблиця 2.6

*	TC	NICsb	Помилка виміру (м), не більше	NIC
	9	0	7.5	
	10	0	25	
	11	1	74	
		0	185	
	12	0	370	
	13	1*	556	
		0	925	
		1**	1111	
	14	0	1852	
	15	0	3704	
	16	1	7408	
		0	14800	
	17	0	37000	
	18	0	Понад 37 км або невідома	

Supplement-A = 0

**** NIC Supplement-A = 1**

В таблиці використовується додаткова інформація про розряді NIC Supplement-A, який разом з розрядом NIC Supplement-C передається при **тс=31** (таблиця 2.2 – рядок «Резерв для інших потреб»), таке повідомлення отримало назву «Повідомлення про експлуатаційний статус літака» (Aircraft Operational Status Message). На жаль, в [3,4] структура такого повідомлення не наведена.

2.4. Алгоритм виявлення бортових сигналів повітряних суден

Після детального розгляду методів передачі і кодування інформації у повідомленнях, ми можемо перейти до найцікавішої частини розділу, а саме до розгляду алгоритму виявлення таких сигналів з виходу приймача RTL-SDR.

Як вже зазначалося у вступній частині розділу, в додатку до книги [2] наведена програма з відкритим кодом **ADSBAirplaneTrackingwithRTLSDR**, яка вирішує поставлену задачу (авторські права на програму належать корпорації MathWorks).

Розглянемо, насамперед, які програма встановлює параметри на приймач:

```
%% PARAMETERS (edit)
% ідентифікатор пристрою (stick ID):
rtlsdr_id      = '0';
% Робоча частота приймача в Гц (tuner center frequency in Hz):
rtlsdr_fc      = 1090e6;
% Підсилення приймача в дБ (tuner gain in dB):
rtlsdr_gain    = 60;
% Частота квантування вхідного сигналу – тактова частота (tuner
sampling rate), максимальне значення 3.2e6
rtlsdr_fs      = 2.4e6;
% Коригування частоти (tuner parts per million correction):
rtlsdr_ppm     = 0;
% Розмір запитуваного за 1 раз об'єму вхідної інформації фрей-
му(output data frame size):
rtlsdr_frmlen  = 2^18;
% Формат вихідних квадратур (output data type single) – аналог float
(4 байта):
rtlsdr_datatype = 'single';
```

Як зазначалося вище, частота випромінювання сигналів для всіх літаків дорівнює 1090 МГц. Наступний дуже важливий параметр — це частота квантування вхі-

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

дних сигналів. У штатних системах прийому бортових повідомлень ADSB використовується частота квантування 12 МГц, яка забезпечує отримання 12 відліків на тривалості передачі 1 біта. У нас же встановлена частота квантування 2,4 МГц, це відповідає 2,4 відліку на біт. По-перше, дрібна кількість відліків призведе до неоднакової кількості відліків на біт (2 або 3 відліку). По-друге, це запевне мало. Однак можливості збільшення частоти для даної моделі RTL-SDR обмежені величиною 3,2 МГц, причому попереджається, що при перевищенні частоти квантування 2,8 МГц можливі втрати відліків. Звичайно, є приймачі, що дозволяють знімати інформацію з більш високою частотою квантування, наприклад, приймач BladeRF – the USB 3.0 Super speed Software Defined Radio коректно працює до частоти 40 МГц. Однак його вартість становить від \$420 до \$650, тоді як найпростіші RTL-SDR доступні за ціною близько \$20. У розглянутій програмі після прийому інформації її інтерполують на ту ж стандартно прийняту частоту 12 МГц. Інтерполяцію, безумовно, неможливо зробити без відчутної втрати якості алгоритму. Ці втрати надалі будуть оцінені. Довжина фрейму (розмір запитуваного за 1 раз обсягу вхідної інформації) досить велика і становить 262144 комплексних відліків. Один комплексний відлік займає 8 байтів у приймальному буфері. Як зазначалося у вступі до посібнику, прийняті від АЦП приймача RTL-SDR 8-бітні значення квадратур перетворюються в тип single – змінну з плаваючою комою, яка займає 4 байти на кожен квадрат. Таким чином, один фрейм займає 2048 Кб у вхідному буфері. Час його формування становить близько 0.109 с.

Програма **ADSBAirplaneTrackingwithRTLSDR** досить об'ємна. Текст програми розміщений у 18 файлах і містить близько 50 функцій. Складається вона з трьох основних частин. У першій частині щодо виявленого сигналу формується повідомлення у 16-ковому вигляді, у другій частині з нього витягуються параметри польоту і третя частина забезпечує текстове і графічне відображення отриманих даних.

Найбільш цікава, природно, перша частина, оскільки оптимальність алгоритмів виявлення реальних сигналів завжди може бути поставлена під сумнів і запропоновано удосконалення алгоритму, що покращують його характеристики виявлення.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пов'язано це з тим, що оптимальні алгоритми виявлення вдається синтезувати для дуже вузького класу імовірнісних розподілів корисного сигналу і перешкод, що впливають на нього. Ще більш істотно, що будь-яка запропонована статистична модель сигналів і перешкод ніколи не буде повністю адекватною реальності.

2.5 Огляд експериментів по прийому бортових сигналів

Радіус прийому сигналів повітряних суден на маленьку 15 см штиркову антену (рис. 1), як зазначалося вище, близько 100 км. В зв'язку з помітним загасанням гігагерцових хвиль у приміщенні, реальна зона прийому з боку стін зменшується. Частина експериментів проводилася при підключенні приймача RTL-SDR до домашнього ПК автора з вікном на захід, частина — при підключенні до сервера в корпусі Інституту автоматики і електротехніки з вікнами на схід. У першому випадку більше повідомлень приймалося від літаків, що пролітали між Миколаєвом і Одесою, у другому випадку — між Миколаєвом і Херсоном. Щодоби в зоні контролю виявляються 2-3 десятки літаків. Для прикладу в таблиці 2.7 наведені дані за сеанс спостереження 12-13 січня 2018 року (дислокація приймача в навчальному корпусі) (таблиця 2.7):

					171.6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.7

№ з/п	№ борта (AircraftID)	Кількість пові- домлень (рейс прямий/ звор- отний)	Кількість спосте- режень	Номер рейсу (FlightID)	Перше по- відомлен- ня	Останнє повідом- лення	Час спосте- режень	Швид- кість (км/год.)	Шлях за час спостере- ження (км)
1	740738	447	1	RJA177	12:43:25	12:51:19	0:07:54	817	108
2	508340	161	1	ANR5117	12:59:17	13:02:48	0:03:31	765	45
3	50818D	84	2		13:51:35	13:56:00	0:04:25		
4		181			16:58:29	17:07:12	0:08:43		
5	4B9065	523	1	PGT427	17:32:34	17:38:53	0:06:19	800	84
6	5081EE	7	1	AUI780	17:44:47	17:49:14	0:04:27		
7	4B84E9	709	2	UJX251	15:50:28	15:59:36	0:09:08	835	127
8		561		UJX250	18:26:52	18:31:48	0:04:56	835	69
9	50839B	7	1		16:29:15	16:32:40	0:03:25	793	45
10	51407D	1	1		16:46:09	16:46:09	0:00:00	837	0
11	8990BF	9	1		18:37:55	18:40:48	0:02:53	883	42
12	4BAA7A	443	2	THY1475	18:58:58	19:04:10	0:05:12	817	71
13		125		THY1476	21:38:52	21:44:03	0:05:11	817	71
14	50816F	170	2		21:25:24	21:30:08	0:04:44		66
15		116			7:11:35	7:22:03	0:10:28		135
16	5082EA	260	2		22:14:59	22:18:19	0:03:20	837	47
17		132			3:41:38	3:47:25	0:05:47	837	81
18	4BB846	776	2	PGT432	0:00:49	0:09:02	0:08:13	828	113

№ з/п	№ борта (AircraftID)	Кількість пові- домлень (рейс прямий/ зво- ротний)	Кількість спосте- режень	Номер рейсу (FlightID)	Перше по- відомлен- ня	Останнє повідом- лення	Час спосте- режень	Швид- кість (км/год.)	Шлях за час спостере- ження (км)
19		616		PGT433	2:53:39	3:02:06	0:08:27	828	117
20	4B906C	820	1	PGT429	2:33:15	2:41:06	0:07:51	789	103
21	508371	10	1		6:27:33	6:30:37	0:03:04	800	41
22	508379	11	1		6:57:22	7:00:26	0:03:04	811	41
23	508279	1	1		7:23:30	7:23:30	0:00:00		
24	5083C9	18	1	AUI722	7:24:19	7:28:05	0:03:46	785	49
25	508366	3	1		7:39:32	7:40:04	0:00:32	806	7
26	508395	27	1		7:48:50	7:50:26	0:01:36	798	21
	Всього	6218	26						

В таблиці дані наведено тільки у відповідності з отриманими повідомленнями, тому номери рейсів вказані не для всіх літаків. Вони можуть бути отримані через сайт www.flightradar24.com за бортовим номером і часом польоту. Те ж саме стосується швидкості польоту. Від частини літаків отримані тільки короткі повідомлення. Зокрема, це стосується бортів 50818D і 50816F, які є представниками літаків Embraer ERJ 145 — сімейства регіональних реактивних літаків виробництва Embraer, Бразилія. Пасажирів всього 50, максимальна швидкість 834 км/год. Мабуть, їх бортова апаратура влаштована простіше, і такі параметри, як географічні координати, швидкість руху, напрямок польоту і інші параметри або не вимірюються, або не включаються в повідомлення ADS-B.

Усього за неповну добу спостереження отримано **6218** повідомлень. Найбільш тривалий інтервал спостереження зафіксовано для борта 50816F, що виконував рейс Київ-Херсон (4 хвилини 44 секунди) і Херсон-Київ (10 хвилин 28 секунд). Дані за цими рейсами наведені на рис. 2.19, 2.20:

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

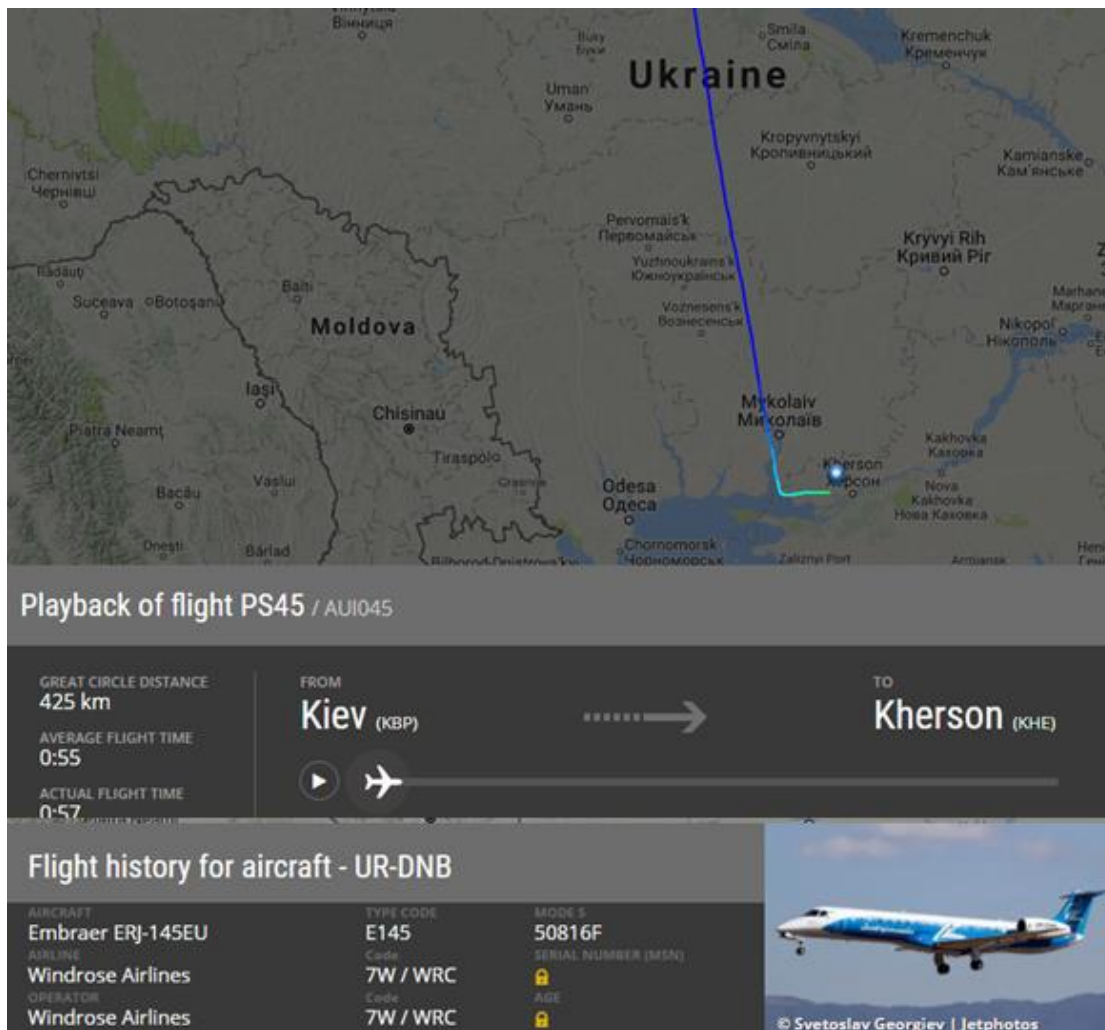


Рис. 2.19. Дані flightradar24 про рейс Київ-Херсон (борт 50816F)

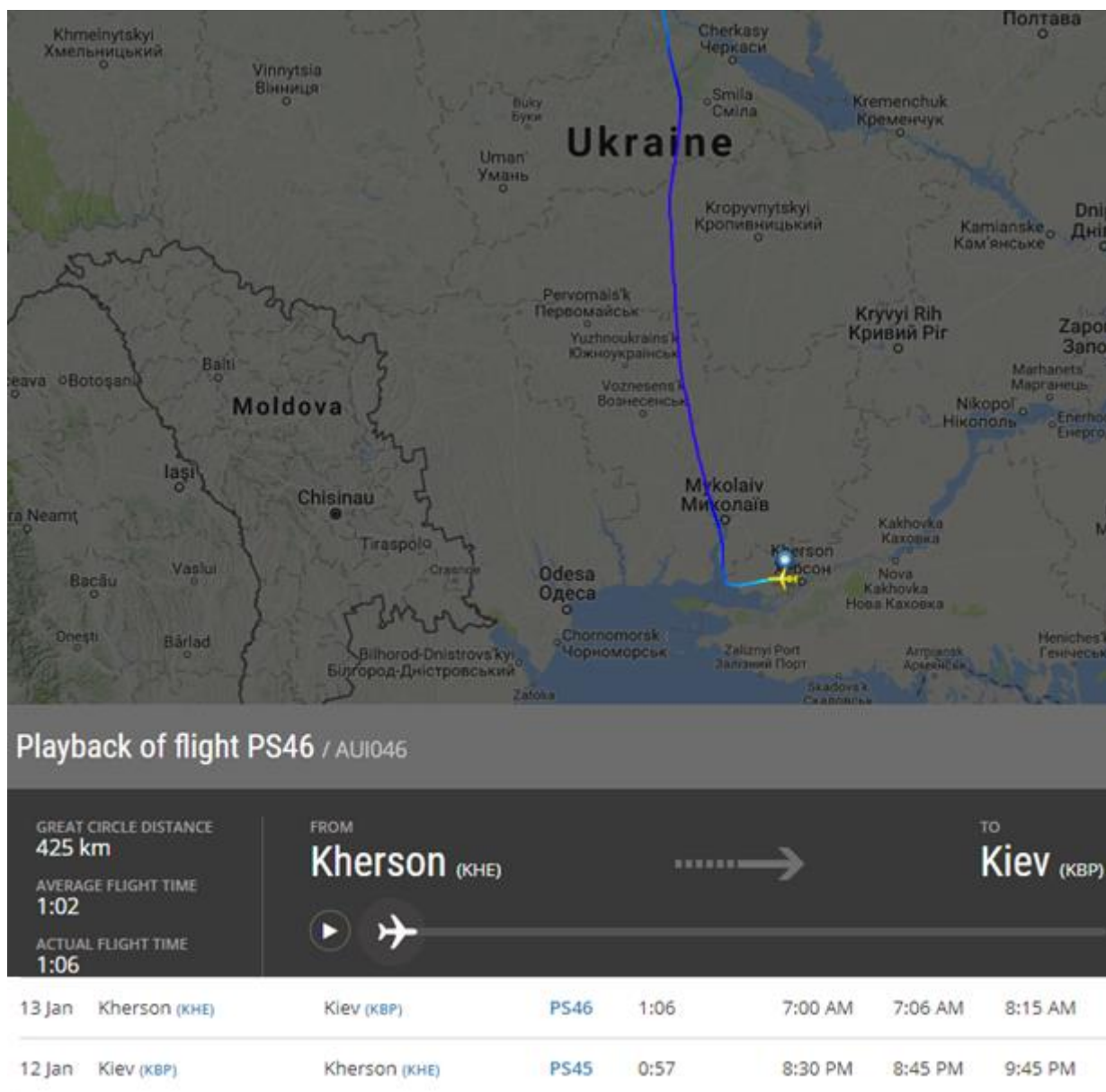


Рис. 2.20. Дані flightradar24 про рейс Херсон- Київ (борт 50816F)

Рекордна тривалість спостереження, мабуть, пов'язана з обльотом Миколаєва з півдня і заходу. Взявши швидкість польоту 775 км/год. (реальна швидкість невідома, максимальна швидкість 834 км/год.), отримуємо, що шлях за час спостереження склав близько **135 км**.

Найбільшу кількість повідомлень (**820**) отримано від борту 4B906C, що виконував рейс PGT429 (PC429) Харків-Стамбул. Дані по ньому наведено на рисунку 2.21:

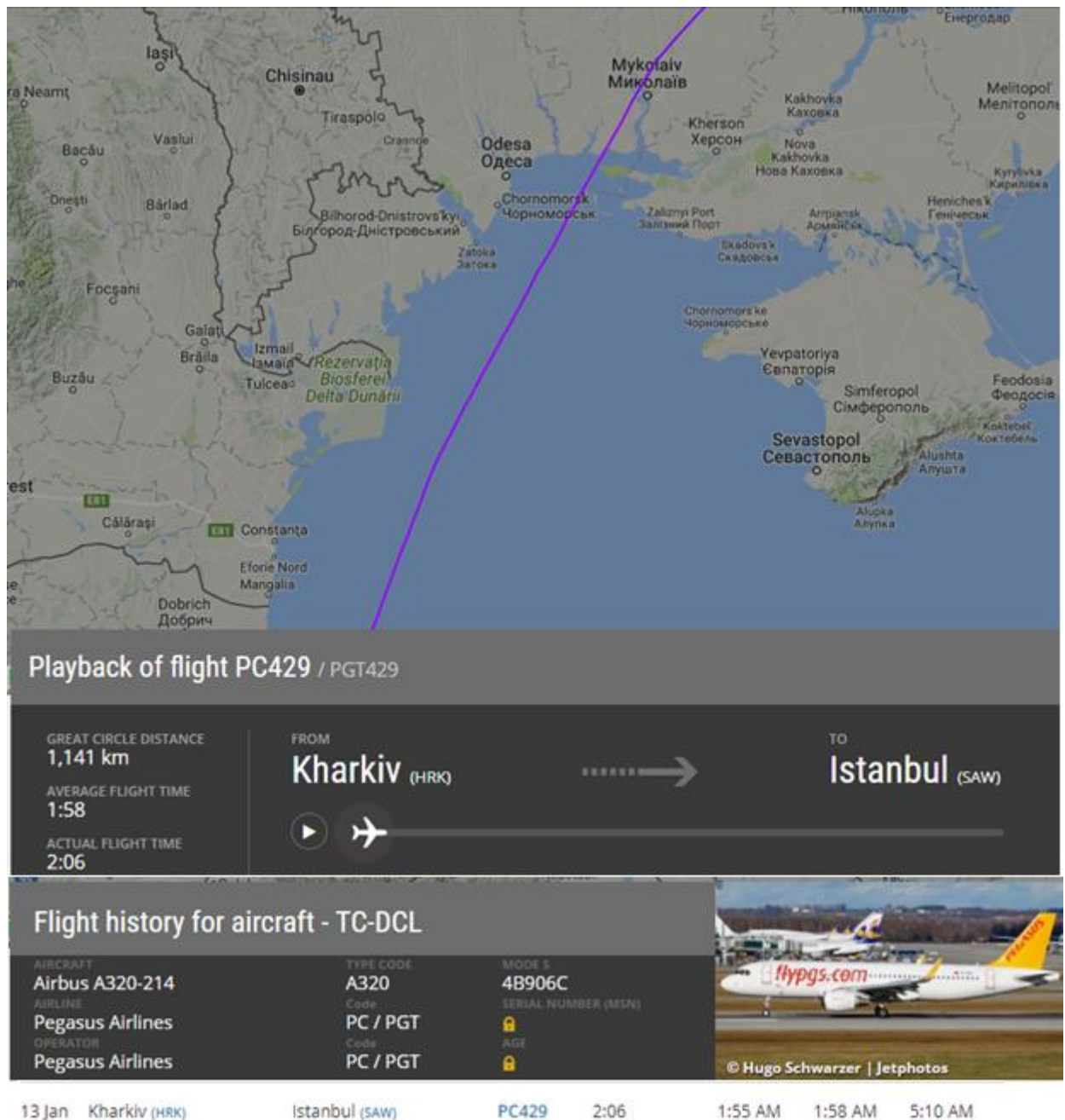


Рис. 2.21. Дані flightradar24 про рейс PGT429 (PC429) Харків-Стамбул (борт 4B906C)

Як бачимо, літак дійсно пролетів дуже близько від Миколаєва.

Як зазначалося вище, найважливішим параметром програми є поріг по коефіцієнту кореляції **corrThreshold**, оптимальне значення якого необхідно підібрати експериментально. Дійсно виявилось, що значення 0,68, встановлене авторами програми, не є оптимальним. Всі наведені вище дані в реальному часі отримані при порозі **0,60** (отримано 6218 повідомлень). Відтворення запису амплітуд з порогом 0,68

дозволило отримати тільки 4767 повідомлень, тобто 1455 повідомлень були втрачені, що становить 23,4%. Таким чином, для значної кількості повідомлень з коректним кодом CRC коефіцієнт кореляції з опорним синхроімпульсом знаходиться в межах 0,60-0,68. Подальше зниження порогу по коефіцієнту кореляції до значення 0,55 дає незначний приріст кількості прийнятих коректних повідомлень. Так під час прийому бортових сигналів за 17-18.01.2018 року (з 20:00:32 до 10:08:02) зі значенням **corrThreshold = 0.55** було отримано **6616** повідомлень. Обробка запису зі значенням **corrThreshold = 0.60** дозволило виділити **6508** повідомлень. Таким чином, вказане зниження порогу призвело до збільшення кількості повідомлень на 108, або на 1,6%. Зрозуміло, що зниження розглянутого порогу в середньому збільшує обсяг обчислень. Для наведеної вище переписаної програми отримані наступні оцінки часу роботи. При порозі 0,68 середній час обробки одного фрейму, при явній присутності хоча б одного сигналу ADS-B, займає приблизно 2,5 с (на ПК середньої потужності), зменшення порогу до 0,60 збільшує час рахунку до 3,5 с. Звідси передусім випливає, що в реальному часі будуть оброблятися далеко не всі фрейми. Дещо несподівано з'ясувалося, що штатна програма обчислює швидше. Обробка одного фрейму в реальному часу в середньому займає близько 0,2 с (поріг 0,60). У цій же ситуації доопрацьована програма на фрейм у середньому витрачає близько 2 с. При цьому кількість виділених повідомлень з однієї і тієї ж інформації приблизно однаково (за записом сеансу 12-13.01.2018 року доопрацьованою програмою до 6218 виявленим в реальному часі повідомленнями додано лише 4 нових). Таким чином, вимагають дослідження 2 завдання. Знайти причини, по яким доопрацьована програма працює на порядок повільніше, і вивчити можливість скорочення втрат фреймів в реальному часі штатної програми (зараз, поки обробляється один фрейм, інформація на довжині двох фреймів пропускається).

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					171.6391м.КР.ПЗ.РЗ								
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата									
Студент		Свердлик К.В.			Призначення і характери- стики антен				Літ.		Арк.	Аркуші	
Консульт.		Тубальцев А.М.									43	19	
Н. контр.									НУК ім. адмірала Макарова				
Керівник		Іхсанов Ш. М.											
Зав. каф.		Рябенський В. М.											

РОЗДІЛ 3. ПРИЗНАЧЕННЯ І ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕН

Антени служать для перетворення радіохвиль в змінний електричний струм і навпаки. Будь-яка радіоантена може працювати як на прийом, так і на передачу сигналу. Головні характеристики цих пристроїв описані нижче.

Смуга пропуску: антени проектують і будують з урахуванням робочого інтервалу частот - смуги пропускання. У одних конструкцій вона може бути ширше, у інших вже. Для телебачення, WiFi, мобільного зв'язку, GPS виділяються різні радіодіапазони.

Спрямованість: антену називають спрямованою, якщо потужність її випромінювання в одну зі сторін істотно більше, ніж в інші. Для того, щоб наочно показати, як змінюється потужність в залежності від напрямку, будують діаграми спрямованості.

Ненаправлення антени однаково діють на всі 360 градусів, їх діаграма має кругову форму. Радіоантена з діаграмою спрямованості в формі сфери називається ізотропною. Теоретично доведено, що побудувати її неможливо. Проте ізотропний випромінювач використовують як еталон для того, щоб порівнювати радіоантени і показувати, наскільки хороша та чи інша конфігурація.

Коефіцієнт посилення: співвідношення напруги випромінювання досліджуваної і еталонної радіоантен характеризується коефіцієнтом посилення. Реальні антени завжди випромінюють в якомусь напрямку менше, в якомусь більше. За відсутності іншої домовленості, то в характеристиках вказують піковий коефіцієнт посилення.

Для коефіцієнта посилення прийнята логарифмічна одиниця вимірювання децибел (десята частина бела). Щоб порахувати співвідношення двох потужностей в децибелах потрібно підставити їх в формулу $L = 10 * \lg (P / P_i)$, де L - коефіцієнт посилення антени, P - потужність її випромінювання, P_i - потужність ізотропного випромінювача при тих же умовах.

Щоб підкреслити порівняння з ізотропним еталоном, такі децибели позначають як дБи. У технічних характеристиках виробів прийнято позначення дБ.

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Перекласти децибели в «рази» можна за формулою $G = P / P_i = 10^{**} (L / 10)$. Можливі такі значення (дБ - «раз»):

- 3 децибели відповідає посиленню в 2 рази;
- 6 — 4;
- 7 — 5;
- 10 — 10;
- 15 — 32;
- 20 — 100;
- 30 — 1000.

Якщо до конструкції радіоантени доданий електронний підсилювач, її називають активною. Виробники вказують коефіцієнт посилення таких виробів з урахуванням підсилювача. Електронні підсилювачі виробляють шуми, які можуть спотворювати сигнал, тому не рекомендується застосовувати їх без необхідності.

Вхідний опір: якщо вхідний опір антени не відповідає хвильовому опору кабелю (фідера), за яким вона підключається, застосовують погоджують пристрої. ТВ-кабелі в переважній більшості країн (включаючи РФ) мають хвильовий опір 75 Ом. Кабелі для WiFi, GSM, 3G, 4G, радіо, GPS випускають з хвильовим опором 50 Ом.

Виробники виготовляють антени з вхідним опором, що відповідає з хвильовим опором кабелю.

Характерний розмір: для більшості радіоантен це половина довжини хвилі. Але є винятки. Наприклад, в конструкцію параболічних антен входить відбивач («тарілка»), діаметр якого може набагато перевищувати довжину хвилі.

Розміри радіоантен WiFi, GPS, GSM, змонтованих на друкованих платах, навпаки, бувають істотно менше половини довжини хвилі завдяки застосуванню матеріалів з великою діелектричною проникністю. Існують антенні поля площею в кілька гектарів і антени, чий розмір вимірюється в міліметрах.

3.1 ВИДИ І ТИПИ АНТЕН

Відомо безліч конструкцій радіоантен. Найбільш вдалі з них стали масовими.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Найпростіші і, можливо, найпоширеніші - диполь і Чвертьхвильова антена. Перший складається з двох провідників довжиною близько чверті хвилі кожен; другий - з одного провідника довжиною близько чверті хвилі. Чвертьхвильову антену часто називають «штирем». Диполь і «штир» - це вузькосмугові радіоантени з коефіцієнтом посилення 2 - 5 дБ.

Штирєва антена однаково випромінює / приймає сигнал у всіх напрямках в площині, перпендикулярній своїй осі. Уздовж осі випромінювання відсутнє. Такі радіоантени використовують, якщо взаємне положення надсилає, та пристрою весь час змінюється. Тому «штирі» часто можна бачити на автомобілях, портативних радіоприймачах, раціях, WiFi-роутерах.

Простота конструкції сприяє застосуванню і в разі відносно нерухомих об'єктів: знаменита кімнатна телевізійна антена «вуса» - не що інше, як диполь. Для того, щоб нівелювати недоліки, пов'язані з вузькою смугою пропускання, «вуса» роблять телескопічними, і їх можна підлаштовувати на потрібну довжину хвилі.

Як вуличних ТВ-антен часто можна побачити «хвильової канал» - узкополосну спрямовану радіоантену з коефіцієнтом посилення 5 - 12 дБ (в залежності від модифікації). Вона винайдена в 1926 році Сінтаро Уда і Хідецугу Яги з Імперського університету Тохоку (Японія). Яги запатентував винахід, і для антени стали використовувати другу назву - Яги.

У конструкції використовується один активним елементом (диполь), з'єднаний з лінії передачі. Його розмір можна порівняти з половиною довжини хвилі. На одній штанзі з диполем кріпляться пасивні елементи:

- рефлектор (довше диполя);
- директор (коротше диполя).

Основний прийом (передача) «хвильового каналу» йде в напрямку директора. Директорів може бути кілька. Додавання кожного нового елемента підвищує коефіцієнт посилення і зменшує кут дії (підвищує спрямованість).

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Альтернативою «хвильовому каналу» при прийомі телевізійного сигналу служить логоперіодична антена. Вона зовні нагадує антену Яги, але у неї інша кон-

фігурація. Ця широкосмугова радіоантена з коефіцієнтом посилення 6 - 7 дБ ви-
найдена в 1958 році Дуайтом Ісбелл і Раймондом Духамела в Університеті штату
Іллінойс (США).

Логоперіодична антена складається з ряду активних елементів (диполів),
розташованих в порядку убутання їх довжини. Додавання нових елементів збі-
льшує смугу пропускання. Пік діаграми спрямованості знаходиться з боку більш
короткого диполя.

Що стосується ще однієї популярної конструкції - панельної антени (патч),
то вона найбільш часто застосовується для WiFi, GSM, 3G, 4G, GPS. Така узко-
полосная спрямована радіоантена з коефіцієнтом посилення 5 - 10 дБ являє собою
прямокутну (іноді еліптичну) пластину і пластину-відбивач (екран), розділені ша-
ром діелектрика.

Найбільшого поширення конструкція отримала, починаючи з 70-х років
20-го століття, коли панельні антени стали масово застосовувати на друкованих
платах. Довжина сторони прямокутної пластини патча порівнянна з половиною
довжини хвилі, якщо між пластиною і екраном знаходиться повітря або інший ма-
теріал зі схожою діелектричної проникністю.

Параболічну антену можна отримати з будь-якої, помістивши її в фокус ві-
дбивача. «Тарілка» робить довільну антену вузьконаправленої, доводячи коефіці-
єнт посилення до 30-40 дБ. У розпорядженні вчених є кілька гігантських відбива-
чів з посиленням 80 дБ, які використовуються в складі радіотелескопів.

Смуга пропускання залежить від радіоантени, вміщеній в фокус. Супутни-
кова антена - інша назва, отримане через використання для прийому супутниково-
го ТБ.

Смуга пропускання радіоантени відповідає діапазону, зазначеного в її пас-
порті. Що стосується спрямованості, то виробники, як правило, пропонують

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спрямовані моделі, якщо очікується стаціонарне положення приймача і передавача.

Коефіцієнт посилення тим важливіше, чим далі рознесені джерело і одержувач інформації. Але також слід звернути увагу на коефіцієнт посилення, якщо джерело сигналу має малу потужність.

3.2 Антена штирєва

3.2.1 Визначення і поняття

Несиметричними (штирєвими) називають антени, розташовані безпосередньо у землі (або металевому екрані) перпендикулярно (рідше похило) до її поверхні.

Якщо вважати землю ідеально провідною і враховувати дзеркальне відображення, то несиметричний вібратор можна вважати половиною еквівалентного йому симетричного вібратора (рис. 1а).

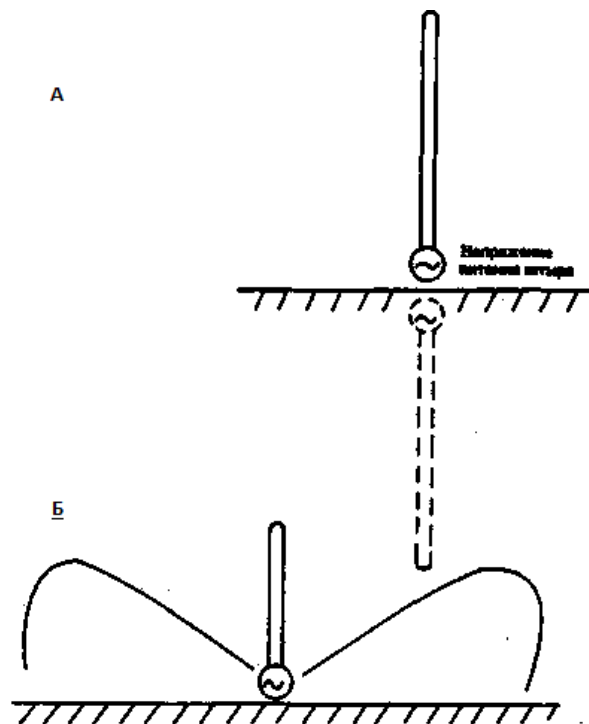


Рис. 3.2.1 – Штирєва антена у землі

Опір випромінювання несиметричного вібратора в два рази менше, ніж у еквівалентного симетричного вібратора, оскільки при однакових струмах перший випромінює в два рази меншу потужність (немає випромінювання в нижню напівпростір).

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Вхідний опір несиметричного вібратора в два рази менше, ніж у еквівалентного симетричного вібратора, оскільки при однакових струмах харчування у першого напруга живлення в два рази менше (рис. 1б).

Коефіцієнт спрямованої дії несиметричного вібратора в два рази більше, ніж у еквівалентного симетричного вібратора, оскільки при однаковій потужності випромінювання перший забезпечує в два рази більшу кутову щільність потужності, так як вся його потужність випромінюється в одне півпростір (рис.2).

Все сказане справедливо для ідеального несиметричного вібратора, тобто коли земля є ідеальний провідник. Якщо ж земля має поганими провідними властивостями, поле випромінювання вібратора змінюється. Крім того, це призводить до зменшення амплітуди струму в вібраторі і, отже, до підвищення його опору і зменшення випромінюваної потужності. Грунт є діелектриком з великою діелектричною проникністю (рівній майже 80), що призводить до зміни електричної довжини мнимого диполя, а також довжини шляху струмів зміщення. Результат - повне спотворення діаграми спрямованості (підняття пелюсток вгору і зникнення випромінювання під малими кутами до горизонту) і збільшення опору штиря.

З цієї причини практично не використовують грунт в якості "землі", а використовують штучну землю.

Коефіцієнт спрямованої дії несиметричного вібратора в два рази більше, ніж у еквівалентного симетричного вібратора, оскільки при однаковій потужності випромінювання перший забезпечує в два рази більшу кутову щільність потужності, так як вся його потужність випромінюється в одне півпростір (рис.2).

Все сказане справедливо для ідеального несиметричного вібратора, тобто коли земля є ідеальний провідник. Якщо ж земля має поганими провідними властивостями, поле випромінювання вібратора змінюється. Крім того, це призводить до зменшення амплітуди струму в вібраторі і, отже, до підвищення його опору і зменшення випромінюваної потужності. Грунт є діелектриком з великою діелектричною проникністю (рівній майже 80), що призводить до зміни електричної довжини мнимого диполя, а також довжини шляху струмів зміщення. Результат -

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повне спотворення діаграми спрямованості (підняття пелюсток вгору і зникнення випромінювання під малими кутами до горизонту) і збільшення опору штиря.

З цієї причини практично не використовують ґрунт в якості "землі", а використовують штучну землю.

3.2.2 Земля штирьової антени

Теоретичні розрахунки показують, що найбільші втрати мають місце в зоні з радіусом 0,35 довжини хвилі, тому в цій зоні бажано провести "металлизацию" землі: з'єднати радіальні дроти між собою перемичками (рис.3). Дуже добре, якщо ця металлизация буде проведена на всій відстані протываг.

Протываги слід ізолювати від землі. Якщо вони будуть лежати на землі, то від вологи їх електрична довжина не буде резонансною для антени. Так само повинні бути ізольовані від землі і їх кінці. Тільки в одному випадку можна не ізолювати кінці протываг від землі: якщо вони надійно з'єднані кільцем-перемичкою (рис.2).

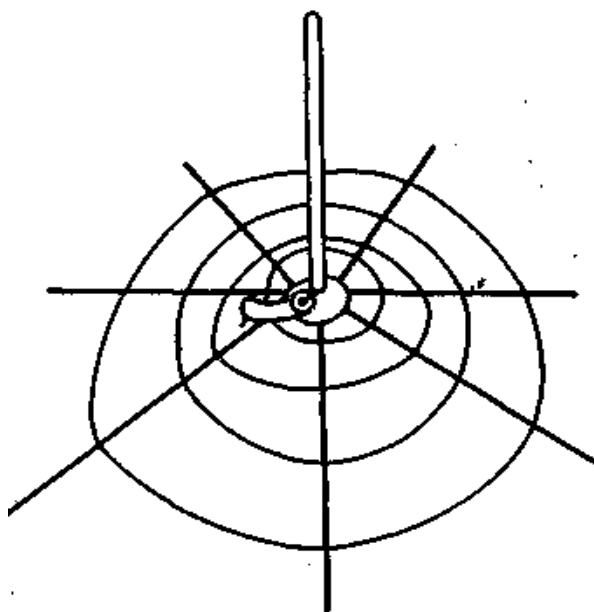


Рис. 3.2 – Кільце – перемичка

Ніколи не слід забувати про те, що ідеальна штирьова антена має ККД 47%, а ККД антени з 3 протывагами - менше 5%. Значить, працюючи з штирьовою антеною з трьома протывагами, з ваших 200 ват, які підводяться до штиря,

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

180 ват (!!!) марно губляться, попутно створюючи TVI. Багато процесів в іоносфері нелінійні, тобто відображення радіохвиль починається, скажімо, при потужності, що підводиться до вашої антени в 7 ват, і вже повністю не відбувається при 5 ВАТ. Значить, ви втрачаєте унікальні можливості DX QSO, заощадивши на дроті для противаг.

Слід ще врахувати спотворення діаграми спрямованості при малій кількості противаг. З кулястої вона стає пелюсткової, що має напрямок уздовж противаг. Завдання про знаходження оптимальної кількості противаг була вирішена мною за допомогою ЕОМ. Рішення представлено на рис.4. З нього видно, що мінімально необхідну кількість противаг одно 12. При більшому їх кількості ККД зростає повільно. Противаги повинні бути розташовані на однаковій відстані відносно один одного.

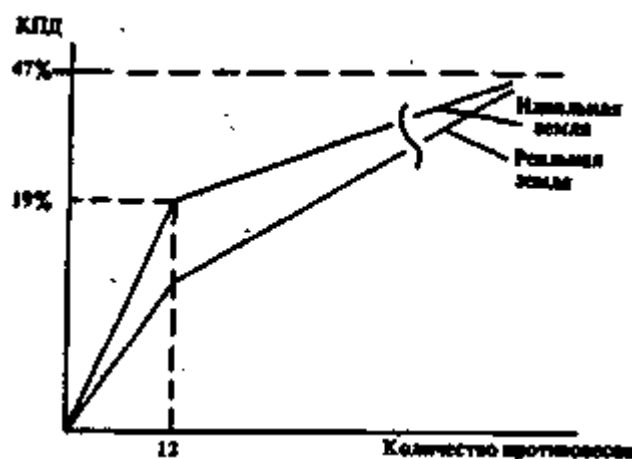


Рис. 3.3 - Кут розташування щодо штиря

Кут їх розташування щодо штиря повинен бути від 90° до 135° . При великих і менших кутах падає ККД і д.н. спотворюється. Противаги повинні бути довжиною не менше основного штиря. Ето'можно пояснити тим, що протікають між штирем і противагами струми зміщення займають певний об'єм простору, який бере участь у формуванні діаграми спрямованості. Зменшуючи довжину противаг, а, отже, зменшуючи обсяг простору, службовець формуванню д.н., ми суттєво по-

гіршуємо характеристики антени. З великим наближенням можна сказати, що кожній точці на штирі відповідає своя точка на противазі. Однак немає необхідності використовувати противаги довше ніж основний штир.

Противаги і сам штир повинні бути покриті захисною фарбою. Це необхідно для того, щоб матеріал, з якого виконана антена, що не окислюється. Окислення вібраторів приводить в непридатність антену через те, що тонка плівка оксиду має значний опір, а так як на ВЧ сильно виражений поверхневий ефект, то енергія передавача поглинається і розсіюється в тепло цією плівкою.

Вкрай бажано використовувати для цього радіокраску (ту, якою фарбують локатори). Звичайна фарба містить частинки барвника, що поглинають ВЧ енергію. Але, в крайньому випадку, можна використовувати і звичайну фарбу.

3.2.3 Розміри вібраторів штирьової антени

Як відомо, опір випромінювання антени Ріслі пропорційно відношенню L / d , де L - довжина і d - діаметр антени. Чим менше відношення L / d , тим широко-смугового антени і більше ККД.

Слід врахувати, що при використанні товстих вібраторів позначається "торцевої ефект". Він обумовлюється ємністю між торцями вібратора і землею. Фізично це виражається в тому, що антена виходить "довше" розрахункової. Для його зменшення зазвичай широкосмугові штирі мають конусоподібну форму. Розрахунки показують, що мінімально необхідна товщина противаг повинна становити

$$d = D / 2,4n, \text{ де}$$

d - діаметр противаг, D - діаметр штиря, n - кількість противаг.

Часто радіоаматори не можуть встановити четвертьхвонний штир і використовують штир, що має менші розміри. В принципі можна узгодити штир будь-якої довжини за допомогою узгоджувальних пристроїв. Однак короткі штирі мають мале активну і велику реактивний опір і будуть узгоджені вельми неоптимально (на самих узгоджувальних пристроях може розсіятися до 90% енергії). А якщо ще при цьому використовуються і сурогатні короткі противаги, то ефектив-

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ність такої антеною системи буде дуже низька. Однак в засобах рухомого зв'язку часто такі сурогатні антени застосовуються. Але це тільки тому, що інші види укорочених антен будуть працювати ще гірше!

3.2.4 Діаграми спрямованості штирьових антен

Багатьох цікавить, як впливає висота підйому штиря на його діаграму спрямованості в горизонтальній площині і залежить чи його опір від висоти підвісу. Найважливіший результат полягає в тому, що розподіл струмів в штирі не залежить від висоти його підвісу при наявності ідеальної "землі". Практично це означає, що на якій би висоті штир не знаходився, його опір буде постійним. Загальний результат рішення показує, що якщо штир налаштований в резонанс, то його нижній кінець можна заземлити. При цьому його можна жити в будь-якій точці.

На результатах цього важливого висновку і створені штирові антени (прапор-антени, щогла-антени), нижній кінець яких з'єднаний з "землею" і які харчуються через гамма-узгодження.

Діаграми спрямованості вертикальній площині півхвильового штиря наведені на рис.4. З цього малюнка видно, що чим вище піднімається антена, тим положе кут випромінювання до горизонту. Це пояснюється тим, що відбувається складання випромінювання штирем хвилі і хвилі, відбитої від землі. Якщо ґрунт має поганими провідними властивостями, то діаграма спрямованості буде близька до діаграми спрямованості штиря над землею. Піднімати антену на висоту більше довжини

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хвилі не має сенсу, тому що при цьому вже не відбувається зменшення кута випромінювання, а тільки починають дробитися верхні бокові пелюстки.

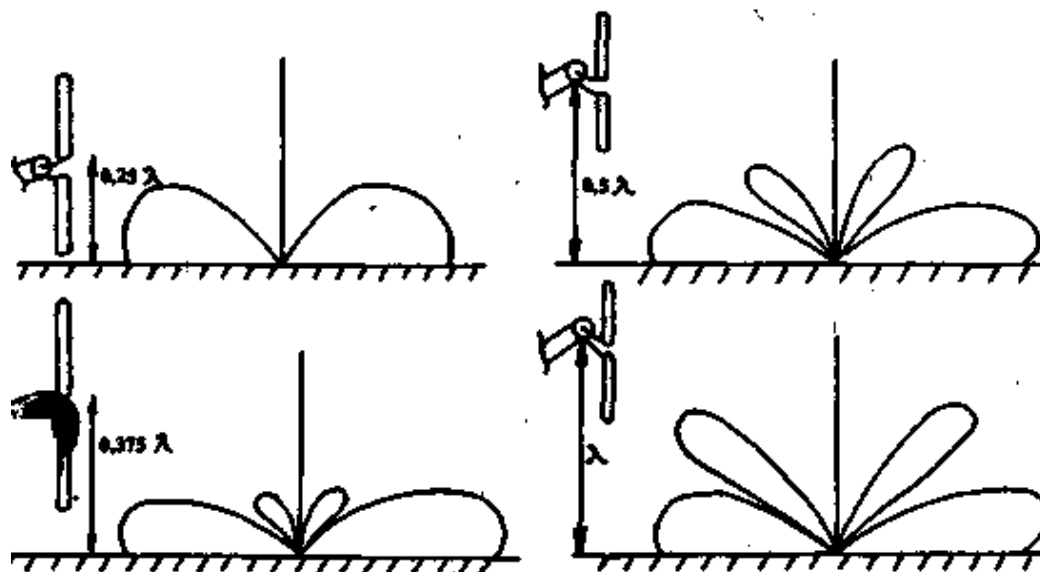


Рис.4 - Діаграми спрямованості вертикальній площині півхвильового штиря

Слід запам'ятати ще одну цікаву особливість штирів, висота яких дорівнює довжині хвилі і більш. Такі антени в професійній зв'язку використовуються як антифедінгові. Це означає, що така антена буде приймати без проблем сигнал, який надходить з замираннями на чвертьволновий штир або диполь.

3.2.5 Узгодження штирьових антен

Для успішної роботи штирьова антена повинна бути узгоджена. Незважаючи на всі здається різноманіття узгоджувальних пристроїв і штирів, їх можна розбити на 3 групи.

1. Штир узгоджений, електрична довжина дорівнює чверті довжини хвилі;
2. Штир з електричної довжиною більше необхідної, цю довжину "прибирають" за допомогою ємності;
3. Штир довжиною менше чверті довжини хвилі. Відсутню довжину "додають" котушкою індуктивності.

Необхідно пам'ятати, що конденсатор і котушка повинні мати максимально можливу добротність, а також бажано, щоб ТКЕ і ТКІ були якомога краще. Зазвичай ємність вкорочують конденсатора може бути в межах 100 пФ на 28 - 18 МГц, параметри подовжує котушки - одиниці мкГн до 21 МГц, десятки - до 3,5 МГц.

На закінчення слід зазначити, що подібна практика узгодження може бути застосована до штирів довжиною, кратною чверті довжини хвилі.

3.1.6 Типи штирьових антен

Несиметричний вібратор з екраном кінцевих розмірів (рис.2). Цю антену іпріменяют в основному радіоаматори. Як екран зазвичай застосовують протива- ги

довжиною не менше чверті довжини хвилі. Несиметричний петлевий вібратор (рис.6). Його д.н. збігається з д.н. класичного штиря. Однак він має перевагу, що виражається в тому, що один його кінець заземлений. Підбором товщини d_1 і d_2 можна змінювати його вхідний опір в великих межах. При $d_1 = d_2$ опір вібра- тора дорівнюватиме 146 Ом.

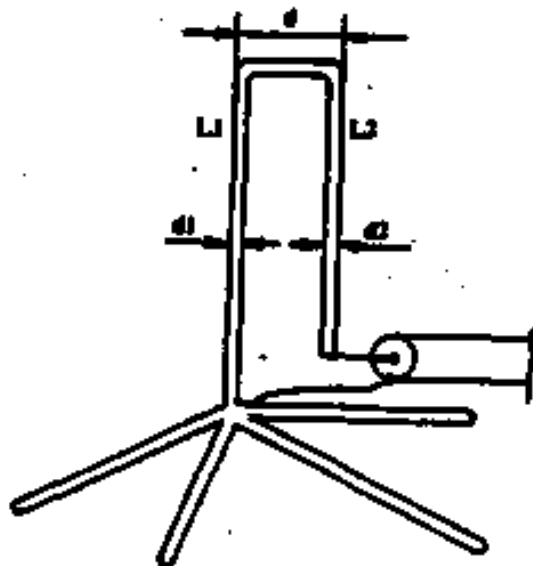


Рис. 5 - Несиметричний петлевий вібратор

Опір несиметричного вібратора, що має різну товщину, розраховується за формулою / 1 /: $R_a = (1 + n^2) \cdot 36n$,

де $n = \ln(d / d_1) / \ln(d / d_2)$.

Широкодіапазонні вібратори, виготовляються з товстих труб, штирів, пластин. Можуть бути як конічними, так і ромбічними, циліндричними, суцільними і ґратчастими (рис.6). Перекриття діапазону робочих частот залежить від ставлен- ня I / O. Всім добре відома антена UW4HW є широкосмуговим несиметричним

вібратором, а вертикальний випромінювач UA1DZ - широкосмуговий симетричний вібратор.

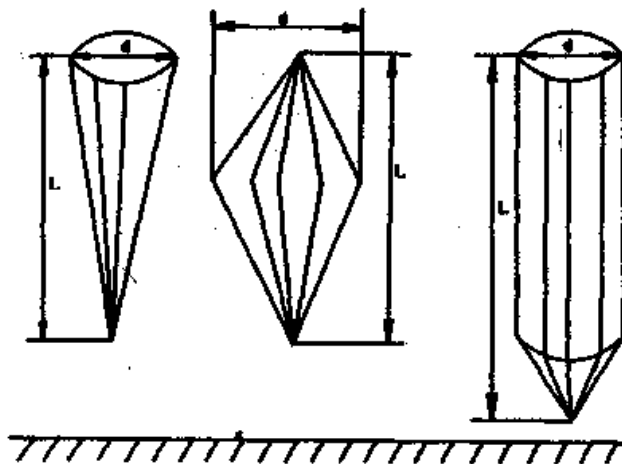


Рис. 6 – Конічні, ромбічні та циліндричні пластини

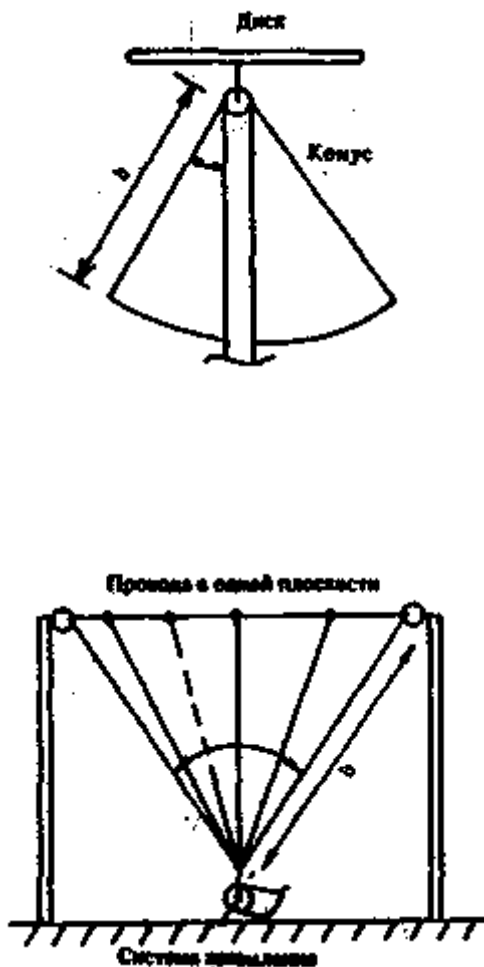
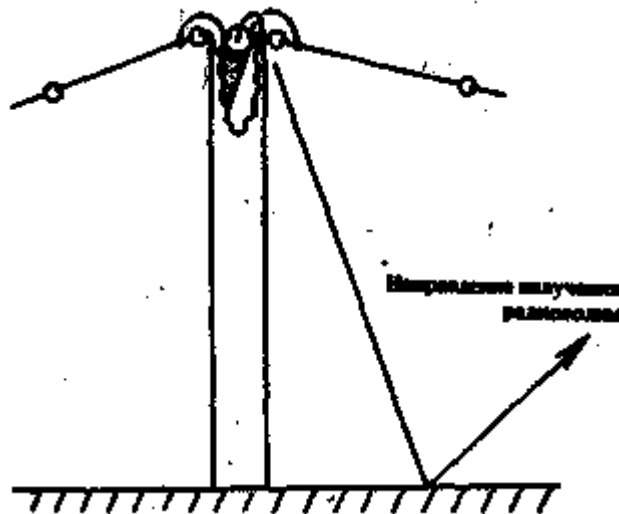


Рис. 7 - Конічні антени - окремий випадок широкосмугових вібраторів

Поле випромінювання створюється струмами, які обтікають конус, а диск грає роль екрану і майже не випромінює. При куті розкриття 600 досягається найбільший коефіцієнт перекриття діапазону, рівний п'яти, при КБВ > 0,5 в фідері з хви-

льовим опором 50 Ом. При цьому максимальна довжина хвилі дорівнює 3,6. Діаграма спрямованості дискоконусної антени КВ і УКВ приблизно така ж, як і звичайного штиря. На КВ застосовують дротяний варіант конусної антени (рис.7), в якій замість конуса використовується плоский дротяний віяло, а замість диска - система заземлення з радіальних проводів.

Окремо хочу звернути увагу на антени-щогли. Особливістю таких антен є

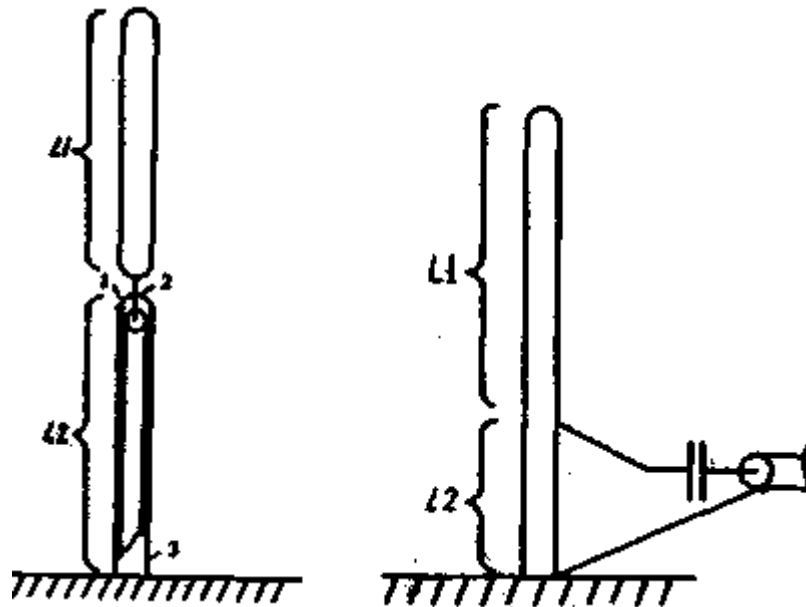


те, що нижній їх кінець заземлений.

Рис. 8 - Антена верхнього живлення

Антенa верхнього харчування (рис.8) збуджується за допомогою фідера, прокладеного всередині щогли. Це принципово. Д.н. його така ж, як і у звичайного штиря, але втрати при випромінюванні і прийомі більше, так як радіохвиля відбивається від землі при випромінюванні.

Антену середнього харчування (рис.10) являє собою щоглу з двох частин, порушувану послідовно в точках 1 і 2 напругою, що подається за допомогою фідера, прокладеного всередині нижньої частини. Опір антени в точках харчування $R_a = R_b / \cos^2 k l_1$, де $\cos$ - коефіцієнт укорочення, R_b - опір "чистого" вібратора в точці 3. Підбираючи співвідношення між l_1 і l_2 , можна узгодити антену з фідером харчування.



Принципове значення має те, що фідер повинен проходити всередині нижньої частини антени. Недолік - труднощі з ізолятором для верхньої її частини.

Рис. 9 – 10 - Антена шунтового живлення

Антену шунтового харчування (рис.10) збуджується паралельно за допомогою шунта, що під'єднується до щогли на деякій висоті l_1 . Зазвичай вхідні реактивні опору нижньої і верхньої частин антени мають індуктивний і відповідно ємнісний характер, і по вхідному опору в точці 1 антена еквівалентна паралельного контуру. Підбором величини l_1 забезпечується найкраще узгодження з фідером харчування. Розподіл струмів таке, що частково послаблює випромінювання антени, тому шунт слід робити мінімальних розмірів. Класична реалізація шунтового харчування - гамма-узгодження.

Часто, особливо при побудові антен для низькочастотних діапазонів, немає можливості розташувати вібратор вертикально щодо землі. При розташуванні штиря похило щодо землі діаграма спрямованості, звичайно, спотвориться.

Слід мати у своєму розпорядженні по можливості більше противаг під тією частиною антени, яка нахилена. Треба, також по можливості, піднімати противаги так, щоб вони утворювали з антеною кут не більше 135° . Слід пам'ятати, що така антена більш важка відповідно через наявність значної реактивної складової.

3.3 Патч

Мікрополоскова антена (друкована антена, патч-антена, англ. Patch-antenna) являє собою узкополосну антену з широким променем. Фізично така антена має двовимірну геометрію. Основним елементом патч-антени є плоска металева пластина («п'ятачок», від англ. Patch - латка). У простій мікрополосковій антени використовуються пластини полувальнової довжини, так що металева поверхня цих пластин діє як резонатор подібно напівхвильового диполя. Мікрополоскова антена зазвичай виготовляється шляхом приміщення металевої пластини заданої форми на ізолюючому шарі діелектрика, подібно до того, як роблять друковані плати, з тією різницею, що на протилежному від пластини стороні діелектрика встановлюється суцільна металева підкладка, яка утворює заземлювальну поверхню. Така конструкція проста в розробці і недорога в виготовленні. У деяких патч-антенах не використовується суцільний шар діелектрика, замість чого металеві пластини встановлюються над металевою підкладкою на діелектричних прокладках. Ця конструкція є менш міцною, але має більш широкую робочу смугу частот. Мікрополоскові антени розробляються для частот від УВЧ-діапазону до 100 GHz.

В патч-антенах в основному використовуються пластини квадратної, прямокутної, кругової або еліптичної форми. Однак, можливо використання і будь-яких інших суцільних (безперервних) форм. Патч-антени характеризуються механічною міцністю і можуть мати форму, відповідну вигнутій поверхні транспортного засобу. Такі антени встановлюються на зовнішніх поверхнях літаків або космічних апаратів, а також вбудовуються в мобільні пристрої радіозв'язку. Вони мають високу поляризаційну вибірковість і можуть використовуватися для декількох точок харчування.

3.2.1 Переваги та недоліки

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- Висока точність виготовлення за рахунок використання технології фотодруку.
- Легкість інтеграції з іншими пристроями.
- Малі розміри антени підходять для портативних переносних пристроїв.
- Можливе отримання високого коефіцієнта спрямованої дії за рахунок застосування мікросмужкових решіток.
- Решітка патч-антен може використовуватися для отримання діаграми спрямованості, яку важко сформувати з використанням одноелементної антени.
- У комбінації з фазовращателями і перемикачами на pіn-діодах можуть використовуватися для розробки інтелектуальних антен (смарт-антен).
- Вузька робоча смуга частот (1%), в той час як для мобільних пристроїв потрібно 8%.
- Невисока ефективність, особливо, для короткозамкнених мікросмужкових антен.
- Складність реалізації деяких способів харчування (апертурний, безконтактний).
- Для решіток необхідна мережа ліній живлення, вплив яких знижує ефективність антени, оскільки живлять лінії знаходяться на тому ж рівні, що і антенні елементи.



Рис.11 – мікрополоскова антенна решітка морського навігаційного FMCW-радіолокатора X-діапазону

Мікрополоскових антени з'явилися в 1980-х роках. Спочатку це була військова розробка, тому вартість не мала вирішального значення. У 1990-х ця технологія була також адаптована для пристроїв зв'язку як Низьковитратних технологія. Однак ефективність мікросмужкових решіток залишалася нижчою, ніж рефлекторних антен. Далі наводиться порівняння основних властивостей антен цих двох типів.

3.2.3 Мікрополоскові антени

- переважні для задач, де не потрібна висока спрямованість;
- має меншу ефективність;
- одним з факторів зниження ефективності є наявність мережі ліній живлення;
- підходять для смарт-антен; в комбінації з фазовращателями забезпечують електронне сканування;
- велика точність у виготовленні за рахунок використання фотодруку;
- харчування здійснюється за допомогою двопровідних або коаксіальних ліній.

3.2.4 Рефлекторні антени

- переважні для задач, де потрібна висока
- спрямованість;
- Мають високу ефективність;
- Елементи кріплення опромінювача знижують ефективність
- антени;
- використовується механічне сканування;
- менша точність виготовлення; іноді поверхня
- відбивача має нерівності;
- вимагають використання інших антен (дипольних,
- вібраторних, апертурних і т.д.) в якості опромінювача.

3.4 Петлевий вібратор

Антену більш простої конструкції - петлевий вібратор, званий також шлейф-вібратор Пістолькорса, показана на рис. 2. Обидва плеча цього вібратора виконані у вигляді короткозамкнутих шлейфів з довжиною кожного, приблизно рівній $1/4$ довжини хвилі. Середина верхньої неразрезанної частини вібратора є точкою нульового потенціалу, що дозволяє в цій точці кріпити вібратор до металевої щогли без ізоляції.

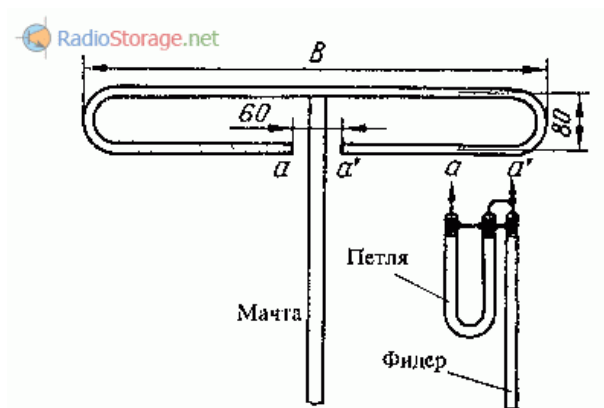


Рис. 12 - Антена - петлевий вібратор

Петлевий вібратор виконують з тих же матеріалів, що і розрізний. Радіус заокруглення решт петлевого вібратора не має значення. У точках харчування кінці трубок можна розплющити.

Коефіцієнт укорочення напівхвильового петлевого вібратора значно менше залежить від діаметра трубки, ніж коефіцієнт укорочення розрізного вібратора. Тому довжина петлевого вібратора, виконаного з трубок діаметром 10 ... 20 мм, практично залишається незмінною. Механічне з'єднання петлевого вібратора з щоглою можна виконувати будь-яким способом: зварюванням, Заклепувальний або гвинтовим з'єднанням без ізоляції.

					171. 6391м.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Вхідний опір петлевого вібратора складає 292 Ома, але зазвичай наближено його вважають рівним 300 Ом. Деякі з перших вітчизняних телевізійних приймачів мали симетричний антенний вхід з вхідним опором також 300 Ом, і з такими телевізорами петлевий вібратор міг з'єднуватися симетричним високочастотним кабелем КАТВ з хвильовим опором 300 Ом.

Для підключення до петлевого вібратора 75-омного коаксіального кабелю необхідно симетрируюче-пристрій, що у вигляді попуоволновий петлі, яке показано також на рис. 2. попуоволновий петля зменшує вхідний опір антени в 4 рази, її виконують з кабелем будь-якої марки. Довжина 'петлевого вібратора В і довжина петлі в розгорнутому вигляді П для будь-якого метрового каналу наведені в табл. 1

Таблиця 1. Розміри антени попуоволновий петлевий вібратор.

Номер каналу	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В, мм	2722	2302	1781	1616	1479	786	752	720	691	664	639	616
П, мм	1865	1581	1227	1116	1023	553	529	508	488	469	452	436

Якщо розрізний вібратор вузькосмуговий і може приймати сигнали тільки того каналу, на який розрахована його довжина, то петлевий вібратор має більш широку смугу пропускання. Тому він може задовільно приймати сигнали по двом-трьом каналам, сусіднім по частоті. При цьому необхідно мати на увазі, що другий і третій, п'ятий і шостий канали не є сусідніми по частоті, між ними значний частотний інтервал.

Замість четвертьволнового короткозамкнутого шлейфу симетрування півхвильового розрізного вібратора можна здійснити за допомогою пристрою на феритових кільцях. Так само симетрування і узгодження з фідером петлевого вібратора можна виконати без попуоволновий петлі за допомогою такого ж пристрою на феритових кільцях.

Таке симетрування і узгодження більш компактно. Однак у другому випадку складніше герметизація, необхідна для зовнішньої антени, щоб уникнути попадання вологи. У той же час, шлейф або петля в герметизації не потребують.

Обидві розглянуті антени (полуволнової розрізний і петлевий вібратори) орієнтуються по напрямку на передавач так, щоб вони розташовувалися в площині, перпендикулярній цьому напрямку. Однак орієнтування має контролюватися по зображенню на екрані телевізора, яке повинно мати максимальну чіткість по горизонталі і стійку синхронізацію, контрастність ж картинки не обов'язково повинна виходити максимальної. Найкраще орієнтувати антену при прийомі телевізійної випробувальної таблиці.

Найпростіші антени в діапазоні дециметрових хвиль зазвичай не застосовують, так як в цьому діапазоні потрібно отримати від антени відчутне посилення через меншу напруженості поля.

Висновки до розділу 3.

Спрямовані антени широко застосовуються при посиленні сигналу стільникового зв'язку, а штирові в WiFi ретрансляторах. Комбінації цих типів застосовуються в GSM репітера і системах бездротової сигналізації.

					171.6391м.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

					171.6391м.КР.ПЗ.Р4							
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата								
Студент		Свердлик К.В.			Отримані експеримента- льні результати				Літ.	Арк.	Аркушів	
Консульт.		Тубальцев А.М.									64	19
Н. контр.									НУК ім. адмірала Макарова			
Керівник		Іхсанов Ш. М.										
Зав. каф.		Рябенський В. М.										

РОЗДІЛ 4. ОТРИМАНІ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

В період з 23.07 по 31.07 було проведено сеанси прийому повідомлень ADS-B на три типи антен, підключених до RTL-SDR через плату Arduino з електронним перемиканням. Обробка в реальному часі інформації приймача проводилася в Matlab кафедральної програмою ReceiveAirplaneInfPL.m, (оптимізований варіант програми ADSBAirplaneTrackingwithRTLSDR.m корпорації MathWorks [1]. Обсяг отриманої статистики наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Дата і час	Тип антени	Тривалість сеансу (год, хв)	Кількість повідомлень	Повідомлень з геогр. координатами
29.07.20 – 10:47:36 31.07.20 – 20:39:50	Довга штирєва антена	57:52:14	14 300	4145
25.07.20 – 15:02:59 26.07.20 – 14:37:52	Коротка штирєва антена	23:34:53	4223	1245
26.07.20 – 20:11:48 29.07.20 – 10:05:55	Антена «Патч»	61:54:07	11 775	3442

Time = 18:03:54	Time = 20:11:48
Decoded Message = 8D4B8E0A60C903450F1AE3	Decoded Message = 8D5082675859C6B2733556
AircraftID = 4B8E0A	AircraftID = 508267
Latitude = 46.90	Latitude = 46.83
Longitude = 31.97	Longitude = 32.44
Altitude = 40000	Altitude = 17900

Time = 15:02:59
Decoded Message = 8D4BAD3058C906F3310337
AircraftID = 4BAD30
Latitude = 47.21
Longitude = 32.37
Altitude = 40000

Рис.4.1 - Приклад отриманих повідомлень (довга штирвова)

На жаль, в програмі не обчислюється відстань до повітряного судна. Скористаємося програмою CSVcoord_2_0_x64.exe, розробленої випускницею кафедри ПЕЕТ Цирульникова О. О. Програма по файлах з повідомленнями, прийнятими від повітряних суден, розміщує їх в файл Excel з розширенням * .csv і по кожному з повідомленням по географічними ко-ординат обчислює в км відстань від судна до приймача. Приклад виходу програми наведено на рис.4.2

По кожному сеансу в Excel обчислено максимальна дальність, на котру отримано повідомлення.

Для (довга штирвова) антени максимальна відстань склало 89,9 км, відповідні рядки в програмі CSVcoord_2_0_x64.exe наступні:

5082CB	46,43	32,83	10:02:50	89,29
5082CB	46,43	32,84	10:02:51	89,85

Цим рядкам відповідають повідомлення:

Time = 10:02:51	Time = 10:02:51
Decoded Message = 8D5082CB60B982F4C17AC7	Decoded Message = 8D5082CB60B982F4C17AC7
AircraftID = 5082CB	AircraftID = 5082CB
Latitude = 46.43	Latitude = 46.43
Longitude = 32.84	Longitude = 32.84
Altitude = 37000	Altitude = 37000

Рис. 4.2 - Приклад отриманих повідомлень (довга штирвова)

5082CB	46,52	33	12:19:01	93,54
5082CB	46,42	32,85	12:20:12	91,17

Time = 12:19:01	Time = 12:20:12
Decoded Message = 8D5082CB60B503030D8436	Decoded Message = 8D5082CB60B502F2B77B98
AircraftID = 5082CB	AircraftID = 5082CB
Latitude = 46.52	Latitude = 46.42
Longitude = 33.00	Longitude = 32.85
Altitude = 36000	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	171. 6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						66

Рис. 4.3 - Приклад отриманих повідомлень (коротка штиркова)

5082CB	46,53	32,74	12:42:09	76,78
5082CB	46,51	33,01	10:05:55	94,78

Рис. 4.4 - Приклад отриманих повідомлень («патч»)

Time = 12:42:09
Decoded Message = 8D5082CB60B50680734670
AircraftID = 5082CB
Latitude = 46.53
Longitude = 32.74
Altitude = 36000

Time = 10:05:55
Decoded Message = 8D5082CB60B973013184A2
AircraftID = 5082CB
Latitude = 46.51
Longitude = 33.01
Altitude = 36975

Звернемо увагу, що максимальна відстань за всіма трьома антенам отримано по повітряному судну з бортовим номером 5082CB, котра здійснювало рейс (рис4.5):

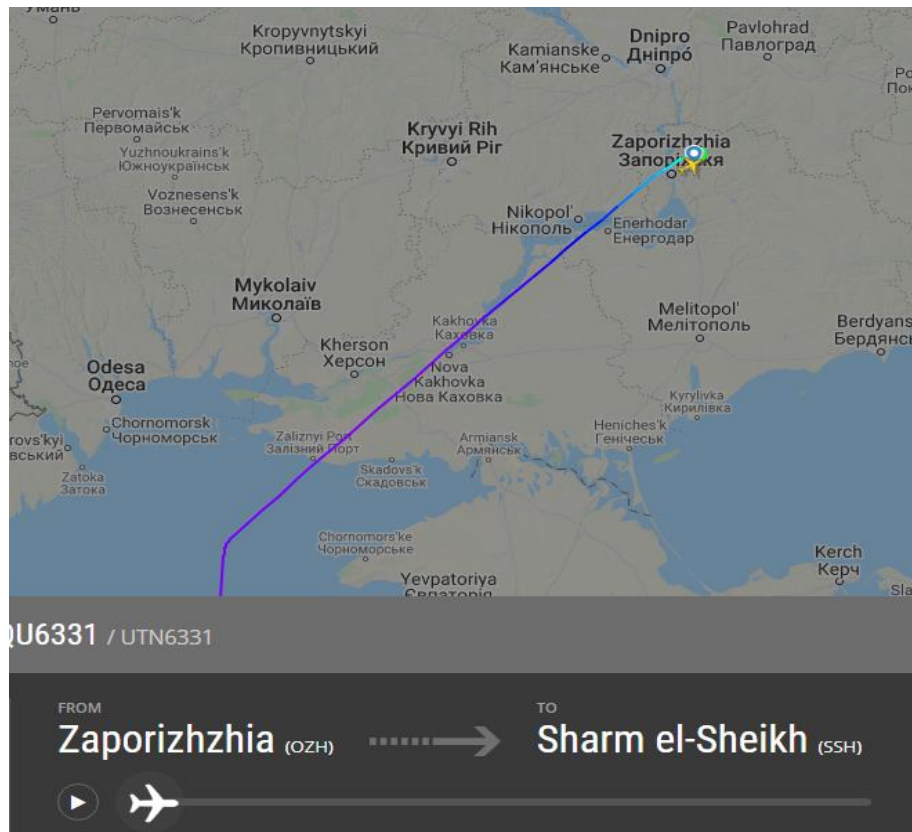


Рис. 4.5 - рейс Запоріжжя - Шарм-ель-Шейх

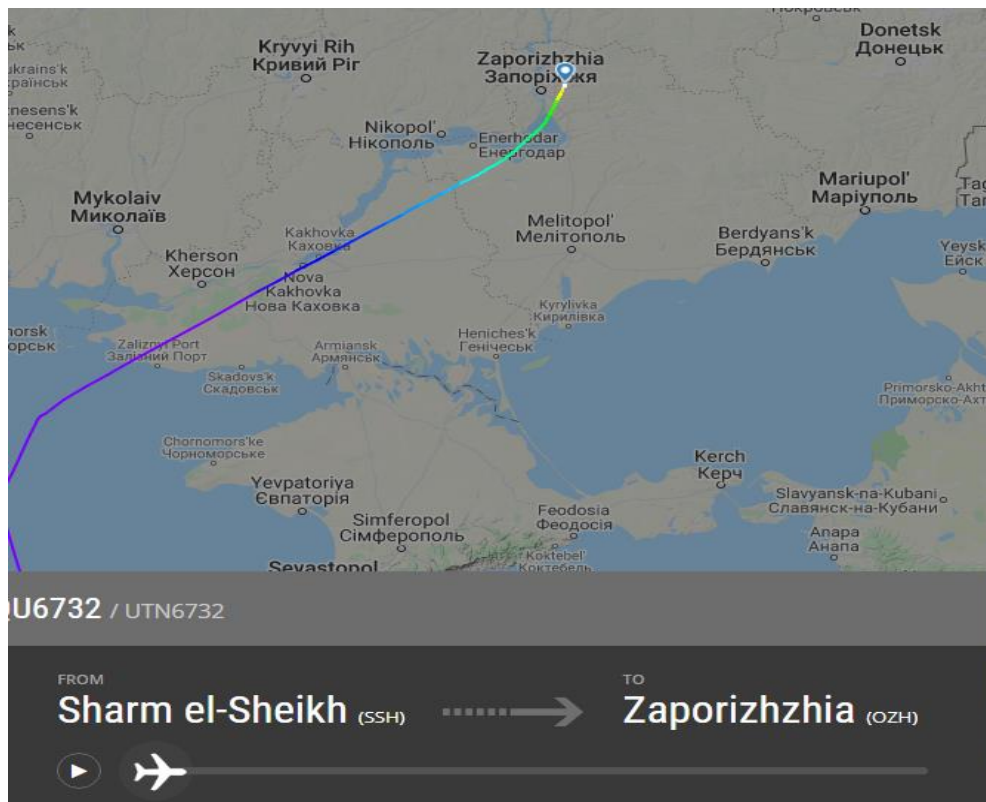


Рис. 4.6 - Зворотний рейс Шарм-ель-Шейх – Запоріжжя

Це робить наш аналіз ще більш точним, оскільки за всіма антенам максимальну відстань забезпечив передавач з однією і тією ж потужністю. Отримані дані, зведені в таблицю 4.2, виглядають так:

Таблиця 4.2

Назва антени	Максимальна відстань прийому сигналів ADS-B
Довга штирєва	89,85
Коротка штирєва	93,54
Патч	94,78

За отриманими даними ми можемо зробити висновок, що антени розглянутих трьох видів, практично еквівалентні і забезпечують прийом сигналів ADS-B з відстані до 100 км при розташуванні в приміщенні (4 поверх). Такий же висновок по короткій штирєвій антені був отриманий раніше [1]. Відзначимо, що дальність до 100 км буде забезпечуватися не в усіх напрямках (азимутах), як це і відзначається в інших джерелах, реальна діаграма спрямованості штирєвих антен сильно порізана, перш за все, через різної забудови в містах за різними напрямками:

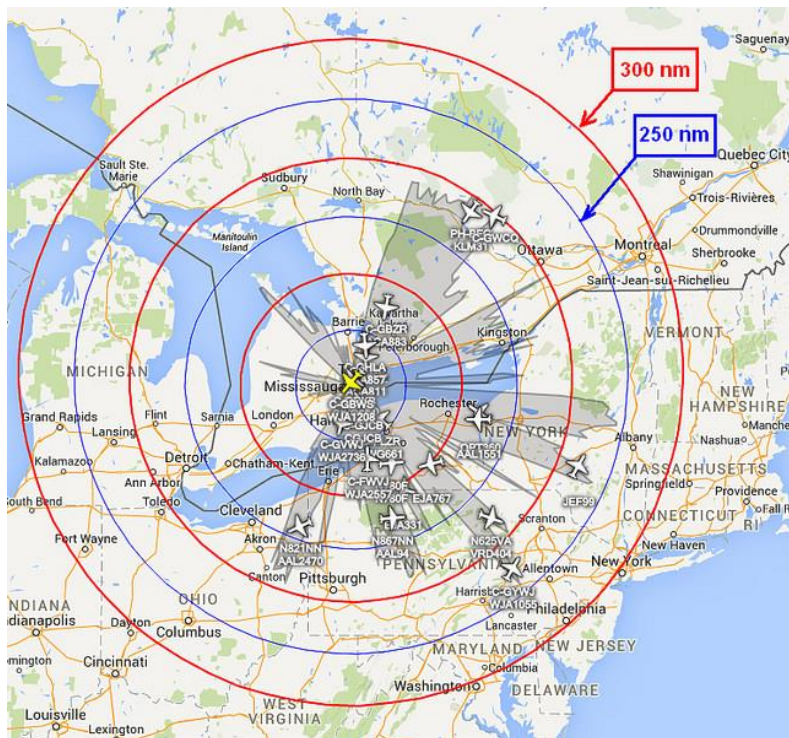
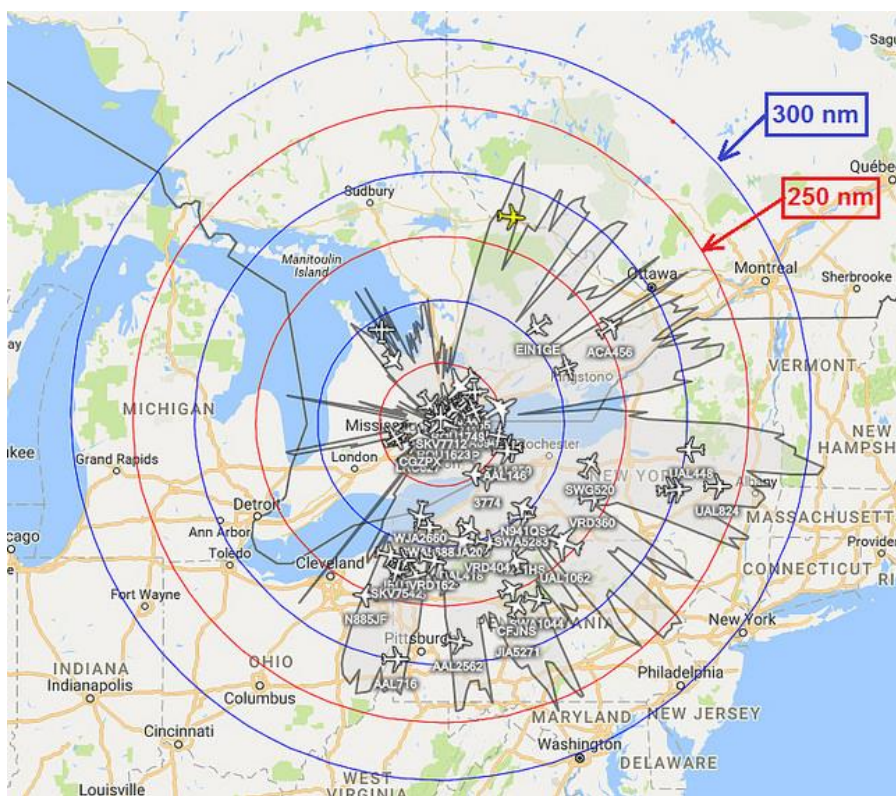


Рис. 4.7 - діаграма спрямованості штирових антен

Так само на кафедрі ПЕЕТ проведені експерименти з спрямованої антеною, фото якої наведено на рис 4.7:



Рис. 4.7 – Спрямована антена

В результаті максимальна дальність прийому сигналів ADS-B в напрямку антени перевищила 350 км. Для прийому та відображення використовувалася штатний програмне забезпечення від сайту FlightAware, включаючи широко відому програму Dump1090 для виявлення сигналів ADS-B, чутливість якої помітно перевищує можливості програм використовуваних на кафедрі.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

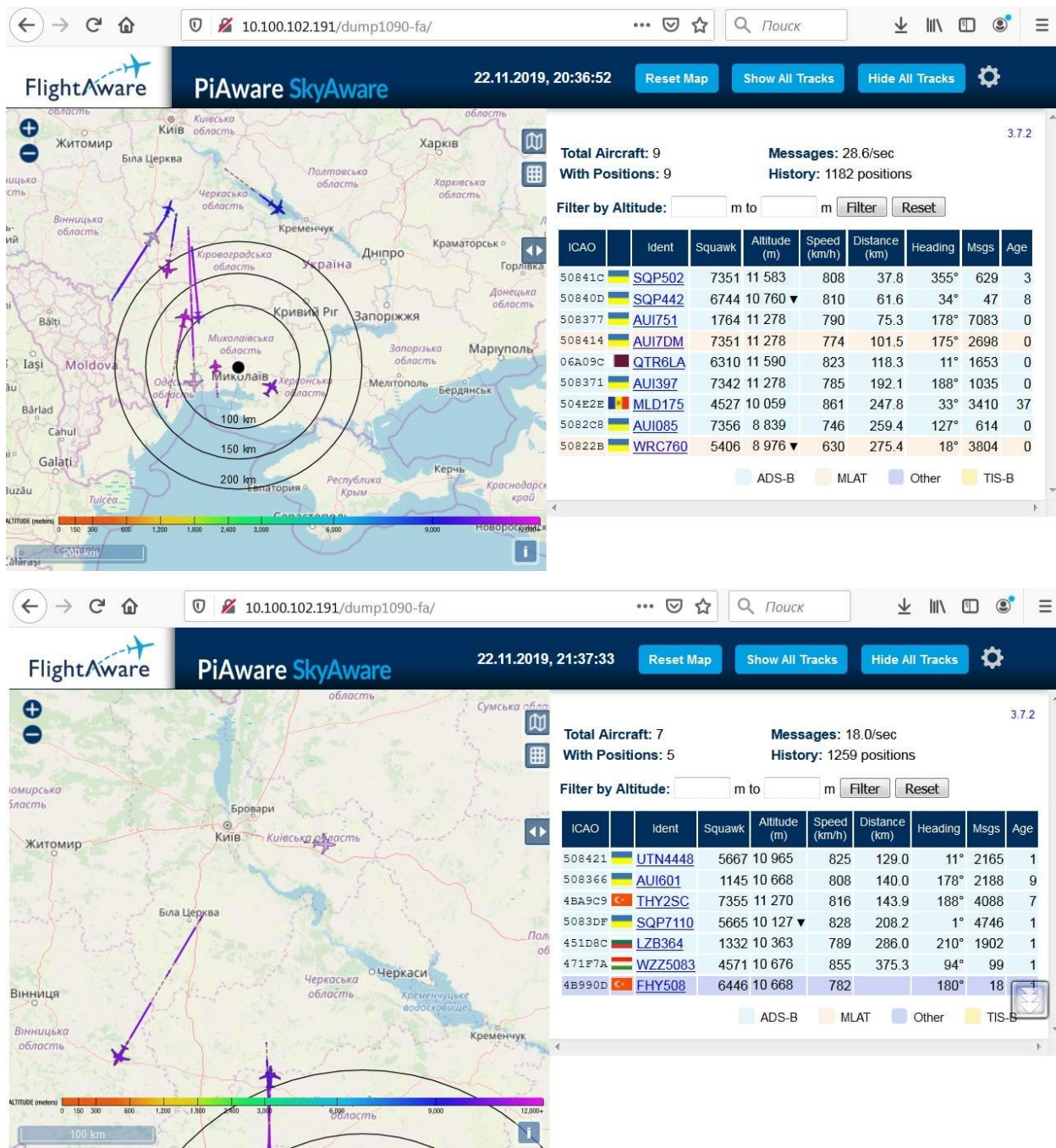


Рис. 4.9 – 4.10 - Приклади супроводу літаків

Відзначимо, що лінія горизонту на висоті 10 км розташована на відстані 357 км, а при висоті 12 км, на якій розташована частина коридорів цивільних авіаліній, досягає 391 км. Таким чином, можна говорити про реальну досяжності граничних значень максимальної дальності виявлення.

З березня 2020 року на кафедрі ПЕЕТ працює станція № 122887 прийому сигналів ADS-B на базі апаратно-програмного забезпечення сайту FlightAware. Антена розташована на даху будівлі Навчально-науковий інститут автоматики та

електротехніки. Дані станції доступні в ЛКМ кафедри за адресою <http://10.100.102.187/>.

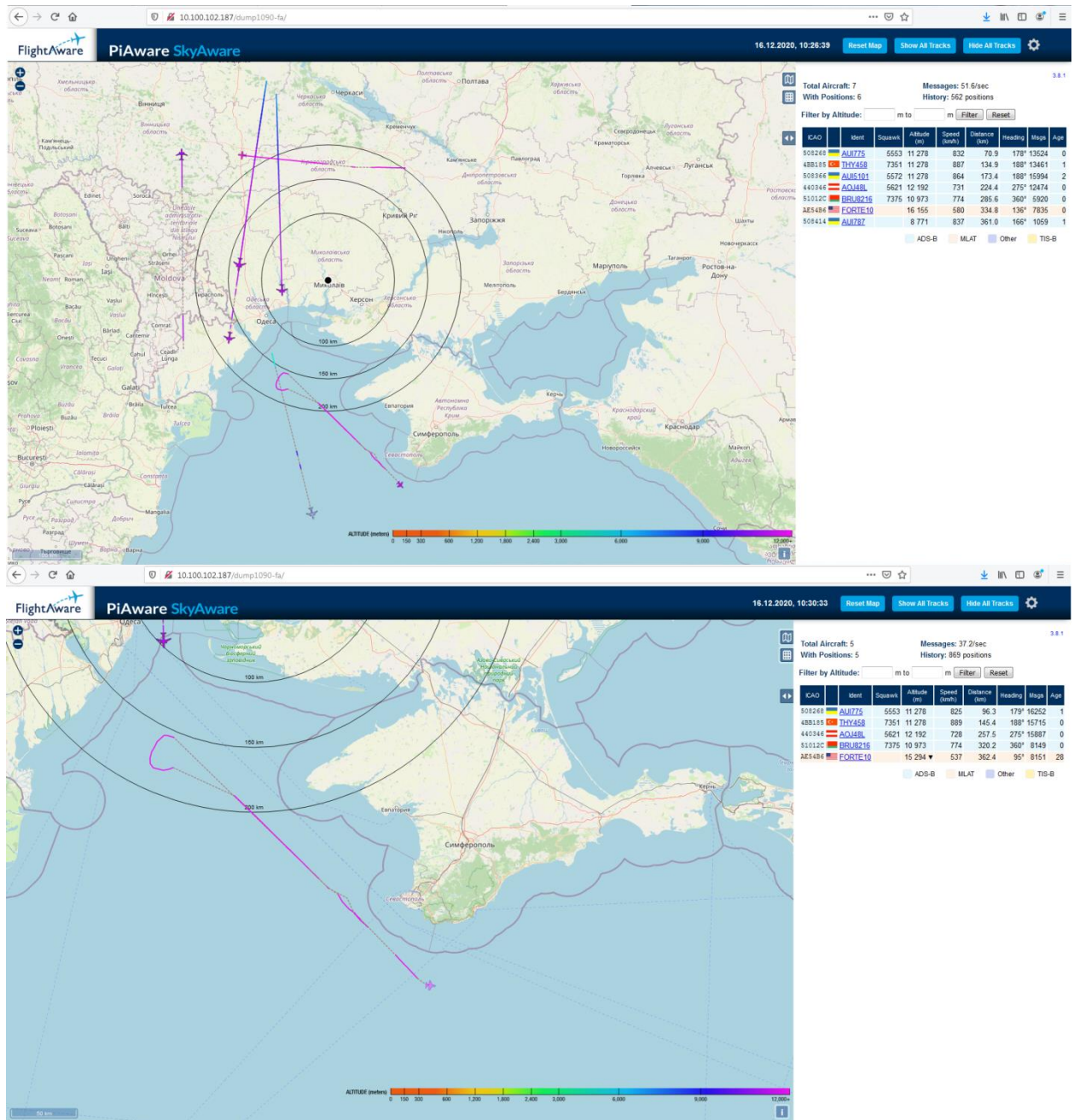


Рис. 4.11 – 2 кадри роботи станції в реальному часі (16.12.2020)

Як бачимо, фіксується дальність прийому повідомлень на відстані 361 км (літак України на висоті 8.7 км) і на відстані 362 км (безпілотний літак-розвідник США на висоті більше 15 км).

У загальній мережі Інтернет доступний сайт статистики по розглянутій станції за адресою <https://ru.flightaware.com/adsb/stats/site/122887#stats-122887>

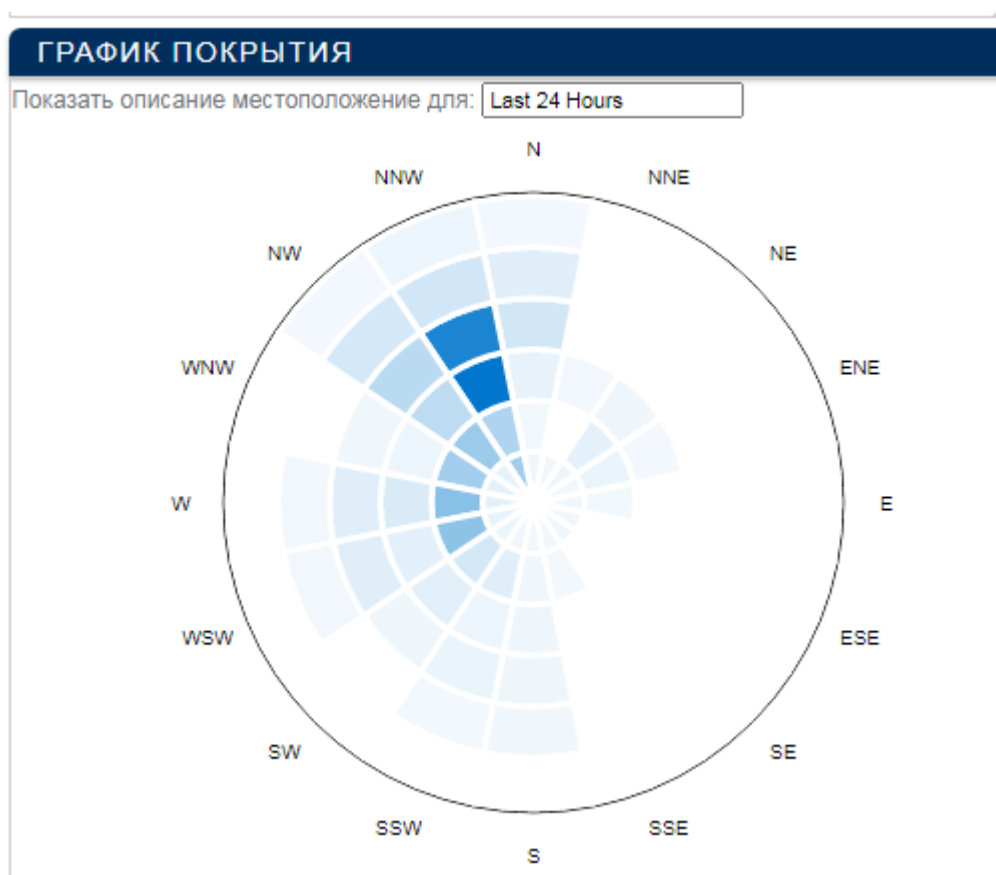


Рис. 4.12 - Діаграма покриття за останні 24 години на 18.12.2020

Явно проглядається спрямованість діаграми на Північно-Північно Захід (напрямок на Київ з Миколаєва).



Рис. 4.13 - Гістограма дальності прийому повідомлень

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Як бачимо, невелика частина повідомлень прийнята з дальності, що перевищує 400 км.

Висновки до розділу 4.

За результатами прийому сигналів ADS-B на три види антен (коротка і довга штирові антени і антена «патч»), показано, що використання антен розглянутих трьох видів, практично еквівалентні і забезпечують прийом сигналів ADS-B з відстані до 100 км при розташуванні в приміщенні (4 поверх). У цьому ж розділі наведені дані про експерименти на кафедрі ПЕЕТ з спрямованої антеною і характеристики літакової станції прийому сигналів ADS-B на базі апаратно-програмного забезпечення сайту FlightAware.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					171.6391м.КР.ПЗ.Р5							
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата								
Студент		Свердлик К.В.			Охорона праці				Літ.	Арк.	Аркуші	
Консульт.		Тубальцев А.М.									75	19
Н. контр.									НУК ім. адмірала Макарова			
Керівник		Іхсанов Ш. М.										
Зав. каф.		Рябенський В. М.										

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Вступ

Підхід до вирішення проблем охорони праці в різних країнах і в різні часи був неоднаковим і змінювався в залежності від багатьох обставин. Те, що зараз практично у всіх промислово розвинутих країнах сприймається майже як аксіома, наприклад, відповідальність роботодавця за безпеку та здоров'я працівника під час роботи, ще сто – сто п'ятдесят років тому таким не вважалося, а навпаки, більш поширеною була думка про те, що працівник, приступаючи до роботи, неминуче бере на себе ризик травми або захворювання. Виходячи з того, що будь-яка робота пов'язана з певним виробничим ризиком, то травми та захворювання розглядалися не як виняткові події, а як повсякденне нормальне явище.

Забезпечення здорових і безпечних умов трудової діяльності в нашій країні потребує корінної зміни ставлення всього суспільства до питань охорони праці, підвищення освіти посадових осіб і спеціалістів усіх рівнів, всього населення країни. Вирішення цієї проблеми не можливе без належної підготовки всіх фахівців з питань охорони праці. Професійна освіта покликана забезпечити майбутнього спеціаліста знаннями, уміннями і навичками безпечної професійної діяльності, зокрема під час виконання управлінських дій, при проектуванні чи розробці нових процесів, виконанні конкретних виробничих дій, технологічних операцій тощо. Випускник вищого навчального закладу повинен вміти використовувати закони та інші нормативно-правові акти, чинну галузеву нормативно-технічну документацію, засоби з охорони праці для того, щоб:

- розробляти організаційно технічні заходи, які забезпечують безпечне виконання робіт;
- готувати робочі місця для безпечного виконання робіт, монтажу, обслуговування, експлуатації, використання, ремонту обладнання тощо;
- організовувати безпечне виконання робіт;
- застосовувати на практиці індивідуальні та колективні засоби захисту працюючих;

– виконувати вимоги норм безпечної експлуатації устаткування та обладнання, застосування пожежо та вибухонебезпечних і отруйних матеріалів і речовин, що використовуються під час виконання робіт;

- забезпечувати протипожежну безпеку об'єктів;
- вміти користуватись первинними засобами пожежогасіння;
- дотримуватись правил особистої гігієни та втілювати заходи з дотримання вимог виробничої санітарії, поліпшення умов праці на робочих місцях.

Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Охорона праці-це система правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально - профілактичних Мері та засобів спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини під час (у процесі) праці. (Закон України про охорону праці).

Під умовами праці розуміється сукупність факторів трудового процесу та виробничого середовища, в якій реалізується діяльність людини, що впливають на здоров'я і працездатність.

Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів проводять згідно з ГОСТ 12.1.003-74. Небезпечними та шкідливими називають фактори, що призводять до раптового погіршення здоров'я людини, або навіть смерті, під час її трудової діяльності.

Згідно з класифікацією ГОСТ 12.1.003-74 до числа небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при проведенні дослідження слід віднести :

- нервово-психічні перевантаження (розумове перевантаження, монотонність праці, емоційні перевантаження);
- фізичне перевантаження;
- невідповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам;
- недостатня або надмірна освітленість робочої зони;
- несприятливе забарвлення стін та підлоги, віддзеркалення;
- робота з комп'ютером.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники викликають перевантаження, що по характері дії підрозділяються на фізичні і нервово-психічні. Фізичні перевантаження підрозділяються на статичні, гіподинамічні, динамічні. Причинами нервово-психічних перевантажень можуть бути розумова перенапруга, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

Відхилення від норм мікроклімату на робочому місці негативно впливає на організм людини, що в свою чергу веде до погіршення стану здоров'я та часткової або повної втрати працездатності. Величини показників мікроклімату у приміщеннях повинні відповідати нормам, зазначеним у ГОСТ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99.

Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо. При недостатньому чи надмірному освітленні робочої зони очі сильно напружуються, знижується темп роботи, збільшується стомлюваність. З часом у працівників можливий розвиток захворювань очей, таких як короткозорість чи інших, тому освітлення робочих приміщень повинно відповідати нормам СніП II.4-79.

Колір приміщень і меблів повинен сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття та гарного настрою. Джерела світла, такі як світильники і вікна, які дають віддзеркалення від поверхні екрану, значно погіршують точність сприйняття знаків на екрані монітору чи клавіатури і спричиняють за собою перешкоди фізіологічного характеру, які можуть виразитися в значній напрузі, особливо при тривалій роботі. Віддзеркалення, включаючи віддзеркалення від вторинних джерел світла, повинне бути зведено до мінімуму. Для захисту від надмірної яскравості вікон можуть бути застосовані штори і екрани.

Робота з комп'ютером характеризується значною розумовою напругою і нервово-емоційним навантаженням операторів, високою напруженістю зорової роботи і достатньо великим навантаженням на м'язи рук при роботі з клавіатурою ЕОМ. Велике значення має раціональна конструкція і розташовує елементів робочого місця, що важливе для підтримки оптимальної робочої пози людини-оператора. В процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримувати правильний режим праці і відпочинку.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

5.2 Розробка заходів щодо забезпечення електробезпеки

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Особливості електротравматизму:

людина не в змозі дистанційно, без спеціальних приладів, визначити наявність електричного струму, а тому його дія раптовою і захисна реакція організму проявляється лише після впливу струму;

струм діє на органи не лише в місцях контакту зі струмопровідними частинами, але як надзвичайно сильний подразник, впливає на весь організм, що призводить до порушення функціонування життєво важливих систем організму: нервової, дихальної, серцево-судинної;

електротравми можливі без дотику людини до струмопровідних частин (внаслідок утворення електричної дуги під час пробою повітряного проміжку між струмопровідними частинами і людиною чи землею).

Дії електричного струму на людину бувають різних видів.

Термічна дія струму виявляється в опіках ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервових закінчень, серця, мозку, що є причиною серйозних функціональних розладів.

Електролітична дія струму виявляється в розкладанні органічної речовини та крові, що призводить до істотних змін їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється у подразненні збудливих тканин організму, яке супроводжується мимовільним скороченням м'язів.

Механічна дія електричного струму проявляється в розшаруванні тканин і навіть у відриві частин тіла.

Електричні травми – це чітко виражені місцеві пошкодження тканин і органів людини, які виникають від дії електричного струму та електричної дуги.

Електричні удари призводять до судорожних скорочень м'язів без втрати свідомості, до судорожних скорочень м'язів із втратою свідомості, до порушень дія-

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

льності органів дихання і серця. Сильні електричні удари можуть викликали клінічну смерть.

Електричний шок – своєрідна важка нервово-рефлекторна реакція організму на надмірне подразнення електричним струмом, яке супроводжується глибоким розладом кровообігу, дихання та обміну речовин.

Фази електрошоку:

Потерпілий реагує на виникнення болю, у нього підвищується кров'яний тиск.

Гальмування і виснаження нервової системи. Різко знижується кров'яний тиск, слабне дихання, виникає депресія.

Людина помирає в результаті повного згасання життєвих функцій або настає видужання як результат ефективного лікування.

Опір тіла людини залежить від багатьох факторів і коливається в широких межах. Так, опір сухої шкіри складає від 3000 до 100000 Ом, а вологої – знижується до 1000 Ом і менше.

Різні тканини людини по-різному проводять струм. Найбільший електричний опір має шкіра людини і, особливо, верхня ороговіла її частина, в якій не має кровоносних судин.

На результат ураження виявляє вплив також шлях струму через тіло людини (петлі струму). Велика небезпека виникає тоді, коли струм проходить через найбільш життєво важливі органи: серце, головний мозок, легені.

Безпечні напруги

Напруга 12 В безпечна при опорі організму людини більше 1200 Ом

42 В – вважають умовно безпечною.

Таку напругу використовують для проведення занять з неповнолітніми в навчальних закладах, а також для індивідуального освітлення, переносних ламп, сигналізації, під час роботи в небезпечних виробничих зонах.

Напруга 42 В безпечна при опорі організму людини більше 4200 Ом

При ідеальних умовах $R=22000$ Ом безпечною буде й побутова напруга

220 В.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

380 В – використовується для промислового устаткування.

380 В і вище – величина напруги, що застосовується для передачі електричного струму лініями електропередач на відстань.

Небезпека ураження від змінного струму досягає максимуму при частотах 50-200 Гц. Струм від 200000 Гц і вище безпечний. Постійний струм у 4-6 раз безпечніший змінного з частотою 50 Гц. Це справедливо тільки щодо напруги до 600 В. При вищій напрузі постійний струм стає більш небезпечним ніж змінний з частотою 50 Гц.

У випадку замикання фази на землю на її поверхні з'являється електричний потенціал. Напруга кроку – це різниця потенціалів між двома точками в зоні розтікання струму на відстані кроку.

Класифікація приміщень за небезпекою електротравмувань:

без підвищеної небезпеки (приміщення, в яких відсутні умови, що створюють підвищену чи особливу небезпеку);

з підвищеною небезпекою (наявністю однієї з таких умов: вологість (перевищує 75%, присутні випаровування та конденсат у вигляді дрібних крапель), струмопровідний пил, висока температура (вище 36°C), можливість одночасного дотику до з'єднаних з землею металоконструкцій з одного боку та до металевих корпусів електрообладнання – з іншого;

особливо небезпечні (наявністю однієї з таких умов: підвищена вологість (близько 100%, стеля, підлога, стіни покриті вологою), хімічно активне середовище, одночасно дві або більше умов підвищеної небезпеки).

Не дозволяється подавати на робочі столи учнів напругу понад 42 В змінного і понад 110 В постійного струму. Кабінети фізики, майстерні належать до групи приміщень з підвищеною небезпекою, тому обладнання з напругою живлення понад 42 В змінного струму і понад 110 В постійного струму необхідно заземлювати.

Електророзетки не дозволяється розміщувати в безпосередній близькості від сто-яків водопровідних і опалювальних систем.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо помічено несправності в електромережі необхідно повідомити про це відповідальну особу.

Стан заземлення та ізоляції електроприладів і електрообладнання мають щороку перевіряти електротехнічні лабораторії.

Для забезпечення безпеки в мережах кабінетів необхідно застосовувати їх електричне розділення.

Засоби захисту від ураження електричним струмом:

- захисне заземлення;
- занулення;
- захисне відімкнення;
- ізоляція;
- мала напруга;
- огорожувальні пристрої;
- попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки;
- вирівнювання потенціалів;
- індивідуальні засоби захисту та запобіжні пристрої.

Електрозахисні засоби бувають ізолюючі (діелектричні рукавиці, боти, калоші, килимки, ізольовані підставки, інструмент з ізолюючими ручками, ізолюючі штанги, кліщі), огорожувальні (переносні огороження, заземлення) та запобіжні (пояси, захисні окуляри, каски, спеціальні рукавиці).

Засоби індивідуального електрозахисту: захисні костюми, взуття і рукавиці.

Визволення від дії напруги:

- відключення від джерела живлення;
- перерізання проводу;
- відтягнення від джерела дії напруги.

Допомога постраждалому:

- покласти на рівне місце;
- розстебнути пояс та комір;
- відкрити рот;
- витягнути язик;

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- закинути голову, під шию підкласти валик;
- робити штучне дихання методом ;
- робити непрямий масаж серця.

					171. 6391м.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Висновки

Магістерський дипломний проект присвячений дослідженню дальності і виявлення приймачем RTL-SDR сигналів ADS-B повітряних суден при використанні різноманітних антенних систем.

У теоретичній частині роботи проведено огляд технології ADS-B. Дано короткий опис що таке технологія ADS-B, також переваги та недоліки. ADS-B дає пілотам такі сервіси як графічне відображення погодних умов і текстові польотні рекомендації при собівартості більш низьке ніж була раніше, і без платних підписок на подібні послуги.

Другий розділ присвячений огляду експериментів по прийому бортових сигналів. Дізналися що найважливішим параметром програми є поріг по коефіцієнту кореляції `corrThreshold`, оптимальне значення якого необхідно підібрати експериментально.

У третьому розділі розглянули такі типи антен як довга та коротка штиркові, патч, мікрополоскові антени та петлевий вібратор. Дізналися що для того, щоб зробити смугу пропускання ширше або використовувати в роботі кілька діапазонів, виготовляють комбіновані конструкції - кілька в одній. Наприклад, поширені зовнішні ТВ-антени для дециметрових хвиль, суміщені з диполем для метрових хвиль.

У четвертому розділі детально розглянули прийом на три типи антен та також у цьому розділі наведені дані про експерименти на кафедрі ПЕЕТ з спрямованої антеною і характеристики літакової станції прийому сигналів ADS-B на базі апаратно-програмного забезпечення сайту FlightAware.

Розроблено заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

					171.6391м.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дослідження сигналів реальних інформаційних з використанням приймачів RTL-SDR / Ш. М. Іхсанов, В. М. Рябенський, О. С. Дьяконов. - Миколаїв, 2018. — 183 с.
2. Настольная книга радиолюбителя-конструктора / Николаенко М.Н. - ДМК Пресс, 2004. – 277 с.
3. ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ РЕАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ с использованием приемников RTL-SDR. / Ш. М. Іхсанов, В. М. Рябенський, О. С. Дьяконов. — LAP LAMBERT Academic Publishing Riga, Latvia, 2020. — 317 с. ISBN: 978-620-0-09264-9.
— [Електронний ресурс]. URL:
<https://www.morebooks.shop/store/fr/book/исследование-сигналов-реальных-информационных-систем/isbn/978-620-0-09264-9>
4. <https://www.flightradar24.com/46.48,30.74/8>
5. <http://10.100.102.187>

					171. 6391м.КР.ПЗ.Література	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		