

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

«Розробка ADS-B пункту спостереження за повітряним простором із використанням SDR технологій»

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІзм-19-2

Сердюк К.М.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник ст.викл. Іваненко С. А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2021 p.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

/Сердюк К.М./

Керівник

/Іваненко С.А./

Харківський національний університет радіоелектроніки

(повна назва вищого навчального закладу)

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма інформаційно-мережна інженерія

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«____» _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Сердюку Костянтину Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка ADS-B пункту спостереження за повітряним простором із використанням SDR технології»

керівник роботи ст.викл. Іваненко Станіслав Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНЗ від «25» березня 2021 року № 33-Стз

2. Строк подання студентом роботи 21 травня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Розглянути завдання і методи роботи ADS-B пункту спостереження за повітряним простором, застосування SDR технології в завданнях ADS-B пункту спостереження за повітряним простором, проаналізувати методи побудови пристроїв для задач ADS-B пункту спостереження за повітряним простором, реалізація радіоприймального пристрою.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз задач і методів ADS-B пункту спостереження за повітряним простором

2. Аналіз принципів побудови пристроїв ADS-B пункту спостереження за повітряним простором

3. Розробити пункт прийому ADS-B для спостереження за повітряним простором із використанням SDR технології

4. Виконати реалізацію ADS-B пункту спостереження за повітряним простором

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди у форматі Power Point (назва та мета роботи, основне призначення ADS-B пункту спостереження за повітряним простором, основні методи ADS-B пункту спостереження, мета розробки ADS-B пункту спостереження, основна мета SDR, приклад реалізації пристрою ADS-B пункту спостереження, лабораторна установка пристрою ADS-B пункту спостереження, результати, висновки тощо)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	29.03 – 07.04.21	
2	Аналіз літератури за темою роботи.	08.04 – 14.04.21	
3	Виконання розділу 1	15.04 – 22.04.21	
4	Виконання розділу 2	23.04 – 02.04.21	
5	Виконання розділу 3	03.04 – 15.04.21	
6	Виконання розділу 4	16.04 – 24.04.21	
7	Виконання розділу 5	25.04 – 04.05.21	
8	Оформлення пояснювальної записки	05.05 – 11.05.21	
9	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	12.05 – 20.05.21	

Дата видачі завдання 29.03.2021 р.

Студент _____
(підпис)

(Сердюк К.М.)
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

(Іваненко С.А.)
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 26 рис., 4 табл., 14 джерел, 2 додатка

Об'єкт дослідження – розробка ADS-B пункту спостереження за повітряним простором із використанням SDR технології.

Мета роботи – створення ADS-B пункту з використанням SDR технології, яка буде в собі поєднувати переваги професійного обладнання на наземних станціях спостереження та органах управління повітряним рухом.

Розглянуто метод частотного аналізу: метод, заснований на використанні БПФ, архітектурі радіоприймальних пристроїв на основі технології SDR. Було впроваджено пункт моніторингу повітряного простору ADS-B.

ADS-B, РАДІОМОНІТОРИНГ, ШПФ, SDR, УКХ.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 68 P., 26 fig., 4 tables., 14 sources, 2 appendix

The object of research is the development of ADS – B airspace monitoring point using SDR technology.

The aim of the work is to create an ADS – B point using SDR technology, which will combine the advantages of professional equipment at ground-based surveillance stations and air traffic control bodies.

The method of frequency radio analysis is considered: a method based on the use of FFT, the architecture of radio receiving devices based on SDR technology. ADS-B airspace monitoring point has been implemented .

ADS-B, RADIO MONITORING, FFT, SDR, VHF.

ЗМІСТ

	С.
З А В Д А Н Н Я.....	4
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ.....	4
1.ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
2.ВСТУП.....	12
3.2 Вибір антенного пристрою.....	36
5.Рисунок 3.5 – Вигляд програми rtl1090.....	41
7.....	42
8.«MODE-S» – сучасний режим роботи, в якому крім основних аеронавігаційних даних передаються координати повітряного судна.....	42
9.«SISEX» – вигляд сигналів на заданій смузі, на цій частоті;.....	42
10.4 АНАЛІЗ ПРИЙНЯТИХ ДАНИХ ADS-B ПУНКТУ СОСТЕРЕЖЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SDR УСТАТКУВАННЯ.....	45
4.1 Налаштування обладнання для ADS-B пункту спостереження.....	45
4.1.1 Налаштування ЕОМ для роботи з SDR приймачем.....	45
4.1.2 Налаштування ПЗ ЕОМ для ADS-B пункту спостереження.....	46
4.2 Прийом радіоданих повітряних суден у ADS-B.....	49
4.3 Фіксація повітряних суден на мапі світу.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	58
11.ДОДАТОК А	
СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	60
ДОДАТОК Б	
ПУБЛІКАЦІЯ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	66
.....	66

1. ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ADS-B – автоматичне залежне спостереження-мовлення

ADS-B In – прийомна частина системи ADS-B;

ADS-B Out – передавальна частина системи ADS-B;

ALERT – нештатна ситуація;

AGC – Automatic Gain Control – автоматичне регулювання посилення;

A/C Mode – режими трансподера А і С;

BRG – пеленг;

CW – амплітудна модуляція (радіотелеграф);

DVB-T – європейський стандарт ефірного цифрового телебачення, один з сімейства стандартів DVB;

ES – Extended Squitter – розширений сквіттер;

FM – Frequency modulation – частотна модуляція;

FIS-B – трансляція польотних інформаційних послуг;

GPS – Global Positioning System – система глобального позиціонування;

GNSS – глобальна навігаційна супутникова система;

HF – (KX) короткі хвилі;

ITU – міжнародний союз електрозв'язку;

IRIDIUM NEXT - друге покоління комунікаційних супутників;

LEO - низька навколоземна орбіта;

LPD – Low Power Device – діапазон радіочастот для малопотужних пристроїв;

LSB – нижня бічна смуга;

MODES – режими;

MF – (CX) середні хвилі;

NFM – вузька частотна модуляція;

PANS – правила аеронавігаційного обслуговування;

RCC – координаційний центр пошуку та рятування;

RX – прийом;

RX FREQ – частота прийому;

RX ID – ідентифікатор прийому;

SARPS - стандарти і рекомендована практика;

SDR – програмно-обумовлене радіо;

SNR – відношення «сигнал / шум»;

SSB – одно смугова модуляція;

TILT – нахил;

TIS-B – служба інформації про рух – трансляція;

UAT – трансивер універсального доступу 978 MHz;

USB – універсальна послідовна шина / верхня бічна смуга;
VHF – ультра короткі хвилі;
VFR – Visual Flight Rules – правила візуальних польотів;
WFM – широка частотна модуляція;
AM – амплітудна модуляція;
APM – автоматизоване робоче місце;
APP – автоматичне регулювання рівня;
АЦП – (ADC) аналого-цифровий перетворювач;
БД – база даних;
БПФ – швидке перетворення Фур'є;
БСПЗ – бортова система попередження зіткнень;
БФД – багатофункціональний дисплей;
ВКР-15 – всесвітня конференція радіозв'язку 2015 року;
ГАНП – глобальний аеронавігаційний план;
ГНСС – глобальна навігаційна супутникова система;
ДПФ – дискретне перетворення Фур'є;
ЕОМ – електронно обчислювальна машина;
ЕПТ – електронно-променева трубка;
ІКАО – міжнародна організація цивільної авіації;
ІРІ – інститут розвитку інтернету;
МСЕ – міжнародний союз електрозв'язку;
МШП – малоцінні і швидкозношувані предмети;
МШПУ – малошумний підсилувач;
ОВС – об'єднані збройні сили;
ПАНО – постачальник аеронавігаційного обладнання;
ПГ – парникові гази;
ПЕВН – побічні електромагнітні випромінювання і наводки;
ПЗ – програмне забезпечення;
ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема;
ППРЧ – псевдовипадкова перебудова робочої частоти;

ПРД – передача;

ПРМ – прийом;

ПЧ – проміжна частота;

РЛС – радіолокаційна станція;

РЕЗ – радіоелектронні засоби;

УПР – управління повітряним рухом;

УКХ – ультракороткі хвилі;

ФНЧ – фільтр нижніх частот;

ЦОС – цифрова обробка сигналів;

ЦПОС – цифровий процесор обробки сигналів;

ШПФ – швидке перетворення Фур'є;

2. ВСТУП

Сучасні радіосистеми, а також їх управління, характеризуються все більшою складністю реалізації за допомогою апаратного рівня. Це можна віднести як до передавальної, так і приймальної частини обладнання, яка вимагає адаптивного управління і великого набору функцій для виконання завдань зв'язку, саме тому все більше функцій сучасних радіосистем реалізуються за допомогою програмного забезпечення, яке здійснює гнучкість конфігурації і функціонування. Концепція, яка реалізує даний підхід носить назву програмно-обумовленого радіо (Software-Defined Radio, SDR).

SDR – радіотелекомунікаційна система, функції обробки радіосигналів якої визначаються не тільки апаратною, але і програмною частиною. При цьому вона може перебудовуватися в широкому діапазоні частот і оперує сигналами з різними видами модуляції.

Технологію SDR, а так само додаткового програмного забезпечення SDR можна використовувати для аналізу цифрових сигналів радіосистем зв'язку повітряних суден різного класу для того, щоб додатково прийняти і розшифрованими повідомленнями з іншого місця розташування прийому, допомогти диспетчерам аеродромів та іншим організаціям спеціального призначення у виявленні того чи іншого повітряного судна, якому з будь-якої причини потрібна допомога, в деяких ситуаціях на пряму пов'язана зі збереженням людських життів, які знаходяться далеко від аеродромів пункту призначення. На сьогоднішній день технології і мережа інтернет дозволяють це зробити практично в будь-яких житлових умовах без особливо великих економічних витрат на обладнання і споживання електроенергії.

1 ЗАДАЧА РОЗРОБКИ ADS-B ПУНКТУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОВІТРЯНИМ ПРОСТОРОМ

1.1 Система ADS-B

21 вересня 2014 року міжнародне партнерське об'єднання в складі ПАНО з Ірландії, Італії, Данії та Канади оголосило про створення служби визначення місцеположення повітряних суден та стеження за ними в нештатних ситуаціях (ALERT) - рішення, передбачають глобальне стеження в позаштатних ситуаціях, яке дозволить координаційним центрам пошуку і рятування (RCC), ПАНО і уповноваженим користувачам, а також відповідним сторонам запитувати розташування і останню лінію шляху будь-якого оснащеного засобами ADS-B в режимі радіомовлення (out) на частоті 1090 МГц повітряного судна, що виконує політ в будь-якому повітряному просторі.

Як загальнодоступного обслуговування для світової авіаційної спільноти координаційний центр, який базується в Шаннон Аерадіо (Ірландія), буде безоплатно надавати обслуговування ALERT всім уповноваженим організаціям, дозволяючи їм відслідковувати будь-яке, оснащене передавальними в режимі радіомовлення системами ADS-B (out) повітряне судно, щодо якого існує невизначеність, в будь-якій точці земної кулі.

Експлуатантам повітряних суден, державам або ПАНО не буде потрібно інвестувати в будь-яке додаткове обладнання або підписуватися на контрактне обслуговування, якщо повітряні судна обладнані засобами ADS-B в режимі радіомовлення (Out) і оснащені надфюзеляжними і підфюзеляжними антенами (така ж вимога, як і для бортових систем попередження зіткнень (БСПЗ)).

Використовуючи глобальну мережу IRIDIUM NEXT з 66 супутників з низької навколоземної орбітою (LEO) і малим запізненням, ALERT буде єдиним рішенням для надання таких послуг з визначення місця розташування і

стеження з дійсною зоною дії від полюса до полюса, включаючи охоплення океанічного, полярного і віддаленого повітряного простору.

Здійснюється координація в рамках робочих структур Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) з метою забезпечення захисту частот для прийому супутниками бортових сигналів ADS-B. Ці зусилля доповнюються роботою, що проводиться в рамках груп експертів ІКАО по частотному спектру при взаємодії з іншими зацікавленими сторонами. Мета полягає в тому, щоб ввести відповідні поправки до Регламенту радіозв'язку МСЕ на Наступній Всесвітній конференції радіозв'язку 2015 року (ВКР-15). Необхідність в такий захист була також визнана на 38-й сесії Асамблеї ІКАО.

Повноважна конференція МСЕ, проведена в Пусані в жовтні 2014 року, визнала терміновий характер даного питання і погодила резолюцію (PP14 RES COM 5/1), що передбачає включення до порядку денного ВКР-15 питання про розгляд глобального стеження за польотами, включаючи різні аспекти даного питання.

Вимоги щодо оснащення повітряних суден засобами ADS-B введені в усьому світі. Ці вимоги покликані підвищити вже значний відсоток міжнародних комерційних повітряних суден, обладнаних засобами ADS-B.

Набирає темпи обов'язкове дотримання вимог щодо застосування коштів ADS-B. Як зазначено в додатку А, в багатьох регіонах світу держави ввели правила і вимоги, що стосуються обладнання ADS-B.

Супутниковий прийом сигналів ADS-B дозволяє здійснювати глобальне спостереження за повітряними судами, які оснащені або можуть бути оснащені надфюзеляжним і підфюзеляжним приймально-відповідачем режиму S DO-260, DO-260 A або DO-260.

Конференції пропонується визнати рекомендацію (у Висновках і рекомендаціях спеціальної наради по глобальному стеженню за повітряними судами (Монреаль, 12-13 травня 2014 роки)) і просити ІКАО в першочерговому порядку вжити всіх можливих відповідних дій, що спрямовані на прийняття МСЕ рекомендації щодо вимог до розподілу частот для супутникового прийому

сигналів ADS-B в режимі радіомовлення (out) на майбутній ВКР-15 МСЕ (див. додаток В).

Конференції пропонується просити ІКАО в першочерговому порядку вивчити глобальні положення (SARPS, PANS і інструктивний матеріал), з тим щоб визначити, які нові положення можуть знадобитися або які існуючі положення може знадобитися змінити для сприяння використанню супутникової системи ADS-B з метою надання обслуговування ОВС на основі спостереження і здійснення стеження за повітряними судами.

Конференції пропонується просити ІКАО в першочерговому порядку сприяти розробці, за потребою, нових положень і вжити необхідних дій для зміни у відповідних випадках положень з метою підтримки реалізації супутникових систем ADS-B [2].

На початку 2000-х невелика група американських розробників спроектувала унікальний прилад. У нього була проста, але дуже важлива місія - відстежувати літаки під час польоту і запобігати їх зникненню. Кілька років по тому американська компанія Aireon поставила виготовлення пристрою на комерційні рейки. Відтепер, масове застосування передавача дозволило мінімізувати ймовірність зникнення літака з радарів до небаченого досі рівня. Специфічний приймач встановлювався на борт літака і дозволяв тримати літак в полі зору земних радарів, де б він не знаходився. Пристрій одержав назву ADS-B і це спровокувало справжню революцію в світі авіаперельотів.

Трохи пізніше Aireon об'єднала зусилля з FlightAware (міжнародною компанією, що спеціалізується на розробці програмного забезпечення для відстеження авіапольотів) і вже разом взяли за поширення технології по всьому світу. Зараз оснащення літаків ADS-B внесені в офіційні міжнародні програми з техніки безпеки польотів. Сьогодні застосування ADS-B лягло в основу AireonSM глобальними мережами спостереження за повітряними судами. Вона дозволяє в реальному часі визначати місце розташування літаків, здійснює передачу інформації про стан всіх систем, забезпечує передачу сигналів лиха і зберігання інформації [1].

1.2 Аналіз частоти ADS-B

Основним призначенням пристроїв ADS-B є постійний контроль ефіру в необхідній хвилі радіочастот, виявлення і аналіз випромінювань повідомлень ADS-B, визначення місця розташування повітряних суден, та даних польоту. Кожна з цих завдань - багатоетапна, вирішується в умовах складної електромагнітної обстановки і вимагає використання певних функцій.

Ці функції можуть бути розбиті на наступні основні групи:

– універсальні функції, виконання яких, як правило, забезпечується сучасними системами автоматизованого робочого місця (АРМ);

– додаткові функції для вирішення завдань аналізу частоти ADS-B на місцевості;

– додаткові функції для вирішення завдань аналізу частоти ADS-B в одному окремо контрольованому приміщенні і групі найбільш важливих приміщень, розміщених на контрольованому об'єкті;

– додаткові функції для виконання завдань виявлення ПЕВН.

До додаткових функцій для вирішення завдань аналізу частоти на місцевості слід віднести:

– вимірювання напруженості поля або щільності потоку потужності;

– пеленгація ІРІ з довільними видами модуляції по азимуту і куту місця;

– визначення положення стаціонарних і мобільних ІРІ на місцевості і в протяжних об'єктах, відображення їх на картографічному фоні (цифровому зображенні об'єкта) [3].

Електромагнітне випромінювання визначається формою коливань електричної і магнітної енергії, здатної поширюватися в просторі без допомоги фізичного з'єднання.

Електромагнітні коливання характеризуються такими основними параметрами – довжиною хвилі λ (м), частотою коливань f (Гц), періодом

коливань T (с), круговою частотою ω (Гц), фазою φ , швидкістю поширення світла (м/с)

(1.1)

Спектр електромагнітних коливань охоплює частоти приблизно від до Гц. Частоти електромагнітних коливань нижче Гц відповідають радіохвилям і називаються радіочастотами. Спектр радіочастот зазвичай розбивається на 12 діапазонів. Кожен з діапазонів включає частоти від до Гц, де $N = 1, 2, \dots, 12$ - номер діапазону. Відповідно до міжнародного «Регламенту радіозв'язку» 4–12 діапазони частот рекомендовані до використання радіотехнічними пристроями, засобами і системами та називаються радіочастотним спектром. У табл. 1.2 наведено класифікацію діапазонів радіочастот і радіохвиль.

У деяких випадках під діапазоном радіочастот розуміється область частот з іншими частотними межами, обумовленими організаційними або технічними міркуваннями. Часто вводиться поняття смуги радіочастот, тобто області радіочастот, що є частиною одного діапазону або частиною суміжних діапазонів радіочастот.

Різні ділянки спектра радіочастот мають різні властивості. Це обумовлює відмінності в призначенні, принципах побудови і технічних характеристиках радіозасобів, що функціонують в різних діапазонах.

Таблиця 1.2 – Класифікація діапазонів радіочастот і радіохвиль

Номер діапазону	Найменування діапазону			Межі діапазону	
	за частотою		за довжиною хвилі	за частотою	за довжиною хвилі
	повне	скор.			
1	Вкрай низькі частоти	ВНЧ	Декаметрові хвилі	3 – 30 Гц	100000 – 10000 км
2	Наднизькі частоти	ННЧ	Метрові хвилі	30 – 300 Гц	10000 – 1000 км
3	Інфранизькі частоти	ІНЧ	Гектокілометрові хвилі	300 – 3000 Гц	1000 – 100 км
4	Дуже низькі частоти	ДНЧ	Міріаметрові хвилі	3-30 кГц	100 – 10 км

Продовження таблиці 1.2

5	Низькі частоти	НЧ	Кілометрові хвилі	30 – 300 кГц	10 – 1 км
6	Середні частоти	СЧ	Гектометрові хвилі	300 – 3000 кГц	1000 – 100 м
7	Високі частоти	ВЧ	Декаметрові хвилі	3-30 МГц	100-10 м
8	Дуже високі частоти	ДВЧ	Метрові хвилі	30-300 МГц	10-1 м
9	Ультрависокі частоти	УВЧ	Дециметрові хвилі	300-3000 МГц	1000-100 мм

Радіохвилі, що розповсюджуються уздовж сферичної поверхні Землі і частково огинають її внаслідок явища дифракції. Здатність хвилі огинати перешкоди і дифрагувати навколо них, як відомо, визначається співвідношенням між довжиною хвилі і розмірами перешкод. Чим коротше довжина хвилі, тим слабкіше виявляється дифракція. З цієї причини хвилі діапазонів УВЧ і вище дуже слабо дифрагують навколо поверхні земної кулі і дальність їх поширення в першому наближенні визначається відстанню прямої видимості (прямі хвилі).

В діапазоні частот 30 – 3000 МГц радіохвилі діапазонів ДВЧ і УВЧ, що поширюються за рахунок розсіювання на неоднорідностях тропосфери на відстань до 1000 км. Ці радіохвилі, розповсюджуються у вільному просторі від одного об'єкта до іншого, наприклад, від одного космічного апарату до іншого, в деяких випадках, від земної станції до космічного апарату або повітряного судна і між атмосферними апаратами або станціями. Для цих хвиль впливом атмосфери, сторонніх об'єктів і Землі можна знехтувати.

Більш низькі частоти відображаються нижніми шарами іоносфери, а більш високі частоти проходять крізь нижні і відображаються більш високими шарами. Радіохвилі будуть відображатися тільки в тому випадку, якщо частота не буде перевищувати деякого певного значення, що називається критичною частотою. Хвилі, частота яких вище критичної, не відбиваються від іоносфери,

а пронизують цей шар. Частоти вище 30 МГц проходять крізь усі шари атмосфери.

Частотний діапазон (від 1 до 2 ГГц) є кращим для роботи радіолокаторів далекого виявлення з дальністю дії до 250 морських миль (близько 400 кілометрів). Вони випромінюють імпульси високої потужності з широким спектром і, найчастіше, з внутрішньоімпульсною модуляцією. Внаслідок кривизни земної поверхні максимальна дальність виявлення обмежена для цілей, що знаходяться на малих висотах. Такі цілі, у міру збільшення дальності, дуже швидко зникають за радіогоризонтом.

У цьому діапазоні частот працюють радіолокатори далекого виявлення в системі управління повітряним рухом, такі як трасовий оглядовий радіолокатор (Air Route Surveillance Radar, ARSR). При об'єднанні з моноімпульсним вторинним оглядовим радіолокатором (Monopulse Secondary Surveillance Radar, MSSR) вони використовують відносно велику повільнообертаєму антену.

Оскільки система ADS-B використовує одну фіксовану частоту 1090 МГц, яка є ультрависокою частотою, то розповсюдження буде лише здійснюватися прямою видимістю від передавача до приймача на відстань до 1000 км.

1.3 Огляд сучасних приймальних пристроїв

Розглянемо ADS-B пристрої різної функціональної спроможності, розмірів, та вимог до установки і експлуатації і як в берегових станціях так і повітряних суднах різної категорії. Нижче наведені деякі приклади поширених виробників.

Розглянемо, як приклад, пристрій AVIDYNE FlightMax EX500 (рис.1.1)



Рисунок 1.1 – Консоль обладнання AVIDYNE FlightMax EX500

Завдяки операції EX500 "орієнтована на карту" можна відобразити рухому карту свого плану польоту разом з радаром і погодою каналу передачі даних, повітряний простір спеціального призначення, рух, місцевість, блискавки. І все це, навіть не залишаючи сторінки карти. Це єдиний доступний багатофункціональний пристрій, що забезпечує на дисплеї повну картину даних, і є найпростішим у використанні.

EX500 / EX5000 – це платформа багатофункціонального пристрою третього покоління Avidyne, що включає в себе все, чого ми навчилися з моменту розробки першого автономного модифікованого багатофункціонального пристрою авіації загального призначення в середині 90-х років, дисплей польотної ситуації і перший в галузі "повністю сумісний" багатофункціональний дисплей (БФД) серії FlightMax 750.

EX500 вміщується у стандартний 6,25-дюймовий стек радіоприймачів із "шириною позначки". Версія EX500 з 4 ручками призначена для заміни існуючих радіолокаторів на основі ЕПТ для будь-якої з 19 різних радіолокаційних систем. Версія з 2 ручками також доступна для використання в одномоторних поршневіх літаках, які не мають бортового метеорологічного радару. Додаткові ручки в 4-ручковій системі призначені для радіолокаційного

контролю BRG та TILT, що робить їх набагато простішими в експлуатації, ніж конкуруючі радіолокаційні дисплеї. Усі інші функції однакові між собою [4].

Також для порівняння розглянемо іншу модель Avidyne AXP340 Mode S (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Консоль обладнання Avidyne AXP340 Mode S

AXP340 – це панельний пристрій транспортування класу 1 (240 Вт), режим S, рівень 2, 1090 МГц, передавач даних з розширеним сквіттером (ES), який відповідає всім вимогам до елементарного спостереження режиму S як для польоту IFR, так і VFR. Як вставна заміна існуючих транспондерів KT76A / KT78A, AXP340 призначений для легкого оновлення існуючого обладнання A / C Mode до режиму S, одночасно додаючи додаткові функції, такі як цифрова клавіатура прямого введення, висота тиску та зчитування Lat / Lon GPS, Введення ідентифікатора польоту, введення коду VFR одним дотиком, простий у використанні таймер секундоміра, таймер польоту та сигналізатор висоти. Щоб додати функціональність ADS-B, знадобиться деяка додаткова проводка.

AXP340 передає інформацію ADS-B Out через Extended Squitter (ES) до належним чином обладнаних наземних станцій та інших літаків, обладнаних ADS-B, забезпечуючи вдосконалене повітряне спостереження, а також життєво важливу інформацію для наземного спостереження в аеропорту.

AXP340 поєднується із системами дорадчих систем TAS600A серії TAS600A, що підтримують функцію ADS-B In, Avidyne, щоб забезпечити повне рішення ADS-B, щоб задовольнити майбутні мандати та отримати вигоду

від підвищення продуктивності, що робиться у повітряному просторі США та Міжнародного аеропорту.

AXP340 кодує та передає необхідну інформацію ADS-B Out, включаючи положення, отримане від GPS вашого літака, а також наземну колію, наземну швидкість та висоту, в серії додаткових імпульсів на потоці даних Mode S (Extended Squitter). TAS600A забезпечує можливість ADS-B In, що дозволяє приймати сигнали ADS-B від наземного радару та від інших літаків, обладнаних ADS-B 1090 МГц, і одночасно відображати трафік як ADS-B, так і не ADS-B для оптимального усвідомлення ситуації та безпеки.

Цей виріб призначений як заміна і підключення КТ76А. Монтажний лоток та комплект роз'ємів продаються окремо, якщо вони потрібні [5].

1.4 Методи радіомоніторингу на основі SDR технології

Метод заснований на застосуванні БПФ, забезпечує безперервний аналіз всіх частот в межах вікна БПФ.

Кожен метод має переваги в залежності від програми, наявних засобів, енергоспоживання і типу досліджуваного сигналу. У табл. 1.3 показані якісні показники для кожного з них.

Таблиця 1.3 – Порівняння методів сканування радіоспектра

Метод моніторингу	Спектроаналізатор	Широкопasmове БПФ
Складність	Менша складність реалізації, якщо можливо розширення компонентів приймального пристрою	Додаткові вимоги для широкопasmових АЦП і велика ЦОС
Виявлення коротких сигналів	Малий час знаходження сигналу на частоті може привести до неможливості виявлення коротких імпульсних сигналів	Вища ймовірність виявлення, заснована на тривалості циклу сканування, який може досягати 50%.

Продовження таблиці 1.3

Смуга	Може сканувати великий діапазон сигналів	Обмеження в АЦП обмежують миттєву ширину смуги частот
Швидкість	Більш повільний, базується на часі існування в кожному каналі. Може бути складно чергувати «прослуховування на заданій ділянці» без перебудови характеристик обладнання	З відповідними фільтрами, донайквістова вибірка мінімізує тимчасові затримки і час між циклами сканування
Споживання	Використовуються переважно звичайні аналогові компоненти, з яких складається пристрій..	Додатково до аналогової частини додаються витрати на споживання енергії цифровою частиною обладнання

Найбільш важливим і складним завданням для ADS-B є швидке виявлення, ідентифікація і визначення параметрів сигналу. Напрямок розвитку сучасного бездротового зв'язку полягає в більшому використанні цифрової модуляції, підвищенні несучої частоти і розширенні займаної смуги сигналу. Тому найбільший розвиток зараз отримав метод моніторингу спектра, заснований на використанні БПФ.

З підвищенням несучої частоти збільшуються втрати при поширенні сигналу між передавачем і приймачем, що ускладнює детектування потрібного сигналу через зниження відношення сигнал / шум (SNR) на вході приймача. Крім того, розширення займаної смуги сигналу призводить до зниження спектральної щільності потужності на приймачі, знову ускладнюючи детектування сигналу. У багатьох випадках система ADS-B, розташована в певній фіксованій точці, може не справлятися з поставленими завданнями через розглянуті вище проблеми, в зв'язку з чим виникає необхідність у використанні

багатьох приймачів, пов'язаних в одну мережу і розташованих ближче до потрібної зони повітряного простору.

Традиційні аналізатори спектра, що працюють за принципом свіпіння, можуть надати мінімальний набір функцій для використання їх в якості приймача. Аналізатор спектра є дуже гнучкою платформою з високим динамічним діапазоном, широким частотним діапазоном і дисплеєм з можливостями встановлення обмежувальних ліній по амплітуді для детектування сигналу ADS-B. Як правило, між аналізатором спектра і антеною встановлюється малошумний підсилювач (МШПУ) для підвищення чутливості аналізатора спектра шляхом зниження коефіцієнта шуму вимірювальної системи і підвищення рівня сигналу.

Багато аналізаторів спектра мають вбудовані функції аналогової демодуляції, але часто вони вимагають перебудови смуги огляду і центральної частоти аналізатора спектра для відповідності параметрам цікавого сигналу. При зміні частотних параметрів аналізатора дуже важливо, щоб внутрішній гетеродин міг швидко перебудуватися під ці параметри, інакше буде неможливо детектувати короткочасні сигнали.

Розглянемо його більш детально.

Швидке перетворення Фур'є (ШПФ) є найважливішим алгоритмом сучасної цифрової обробки сигналів (ЦОС) (рис.1.3). Перші теоретичні роботи по ШПФ належать німецькому математику Карлу Фрідріху Гаусу. Широке застосування ШПФ почалося після опублікування в 1965 р. Д. Кулі і Д. Т'юки статті з оригінальним описом алгоритму (Cooley-Tukey FFT Algorithm). Обчислювальні машини того часу вже справлялися із завданням практичної реалізації ШПФ, але метод Кулі-Т'юки дозволяв прискорити обчислення в 5 – 6 разів. З тих пір елементна база обчислювальної техніки значно змінилася, з'явилися нові алгоритми обчислення ШПФ, проте алгоритм Кулі-Т'юки залишається популярним.

В даний час ШПФ реалізують в основному за допомогою ЦПОС та ПЛІС. Значне збільшенням ємності і швидкодії мікросхем програмованої логіки полегшує реалізацію алгоритмів ШПФ.

Основна ідея ШПФ полягає в розбитті спектра на 2 частини і обчисленні ШПФ вже для кожної з частин розмірності $N/2$.

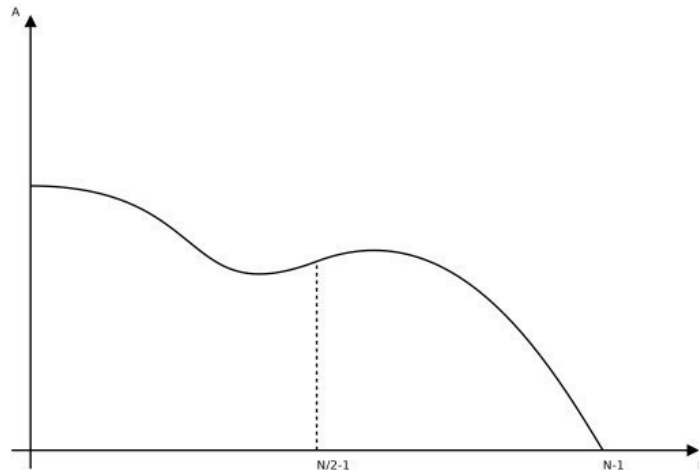


Рисунок 1.3 – Принцип дії перетворення Фур'є

Суть ШПФ полягає в тому, що вхідний сигнал великої розмірності N розбивається на N сигналів одиничної розмірності. Потім для кожного одиничного сигналу обчислюється спектр, тобто відбувається перехід з часової області в частотну. На останньому етапі N одиничних спектрів об'єднуються в один загальний спектр.

Перший етап поділу вхідного сигналу називається декомпозицією. На ньому застосовується т. з. біт-реверсна адресація. Для формування біт-реверсної послідовності необхідно одиниці адреси відліку в двійковій формі переставити в зворотному порядку.

Потім для кожного одиничного сигналу обчислюється спектр. На цьому етапі не потрібно ніяких програмних дій, оскільки спектр одиничного сигналу дорівнює відповідному базисному сигналу ШПФ. Останній крок ШПФ полягає в об'єднанні одиничних спектрів.

В даний час існує велика різноманітність алгоритмів ШПФ, що відрізняються швидкістю, розмірністю, використовуваними обчислювальними ресурсами та іншими параметрами. Важливою характеристикою реалізації алгоритму ШПФ є арифметика, що використовується для обчислень (плаваюча або фіксована точка). Реалізація алгоритму з плаваючою точкою має високу точність, але є складною і витратною по обчислювальним ресурсам. У додатках, які не вимагають високої точності, більш проста реалізація алгоритму ШПФ з фіксованою точкою цілком виправдана, тому що вона вимагає менше ресурсів, що актуально для ПЛІС [6].

2 АНАЛІЗ ADS-B ТЕХНОЛОГІЇ

2.1 Сервіси "ADS-B Out" та "ADS-B In"

ADS-B представляє собою два пристрої: «ADS-B Out» та «ADS-B In». ADS-B може замінити радар у якості основного методу спостереження для управління повітряними судами у всьому світі. У такому разі для США ADS-B – невід'ємний компонент Національної стратегії повітряного простору NextGen за модернізацією та вдосконаленням авіаційної інфраструктури та операцій. Крім того, у Спільній Штатній системі ADS-B безкоштовно надається графічна інформація про погоду, затверджена правильність інформації про переміщення через додатки TIS-B та FIS-B.

ADS-B підвищує безпеку польотів, роблячи повітряне судно видимим в режимі реального часу для управління повітряним рухом (УПР) та іншим належним чином обладнаних повітряних суден ADS-B з щомиті передачею даних про місцезнаходження і швидкості.

Дані ADS-B можна записати та завантажити для подальшого аналізу. ADS-B також пропонує інфраструктуру даних для більш дешевого відстеження, планування та відправлення рейсів.

Використовуючи "ADS-B Out", кожен літак періодично передає інформацію про себе, таку як ідентифікація, поточне положення, висота і швидкість, через Бортовий передавач. ADS-B Out надає авіадиспетчерам інформацію про місцезнаходження в режимі реального часу, яка в більшості випадків є більш точною, ніж інформація, яка доступна за допомогою сучасних радіолокаційних систем. Володіючи більш точною інформацією, УПР зможе позиціонувати і відокремлювати літаки з поліпшеною точністю і часом.

«ADS-B In» – пристрій прийому даних типу FIS-B, TIS-B та інших даних ADS-B, наприклад, прямий зв'язок із сусіднім літаком.

Система описується на двох компонентах авіаторів на борту кожного літака: джерело супутникової навігації високої швидкодії (т. е. GPS або іншого сертифікованого приймача GNSS) та канал передачі даних (блок ADS-B).

Існує кілька частот для сертифікованих каналів передачі даних ADS-B. Найбільш популярні з них працюють на частоті 1090 МГц – канал модифікованого ретранслятора Mode S або на частоті 978 МГц. Федеральна авіаційна адміністрація США хотіла, щоб літаки, які перебувають нижче 18 000 футів (5500 м), використовували канал 978 МГц, це знизило навантаження на частоту 1090 МГц. Щоб «ADS-B Out» запрацював на частоті 1090 МГц, користувачі можуть встановити новий ретранслятор або модифікувати існуючий, якщо це пропонується виробником (також це - можливість встановити сертифікований вихідний позиціонер GNSS, якщо він ще не встановлений) [7].

2.2 Асамблея - 38-Я Сесія ICAO по застосуванню радіомовлення ADS-B

ADS-B - це кардинально нова технологія, яка переосмислює парадигму КОМУНІКАЦІЙ - НАВІГАЦІЇ - НАДЗОРУ в управлінні повітряним рухом сьогодні. Вже перевірений та сертифікований як життєздатна дешева заміна звичайних радіолокаційних станцій, ADS-B дозволяє пілотам та диспетчерам повітряного руху "бачити" та керувати літаками з більшою точністю та на більшому відсотку земної поверхні, ніж це було можливо раніше (рис.2.1).

Автоматичний (Automatic) - він завжди увімкнений і не вимагає втручання оператора.

Залежне (Dependent) - це залежить від точного сигналу GNSS для даних про положення.

Нагляд (Surveillance) - він надає послуги спостереження, схожі на РЛС, подібно до РЛС.

Трансляція (Broadcast) - вона безперервно передає положення повітряного судна та інші дані на будь-який літак або наземну станцію, обладнану для прийому ADS-B.



Рисунок 2.1 – Принцип роботи ADS-B

На відміну від радара, який працює, відбиваючи радіохвилі від нерухомих наземних антен від повітряних цілей, а потім інтерпретуючи відбиті сигнали, ADS-B використовує в якості своїх основних компонентів традиційну технологію глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) і відносно просту широкомовну лінію зв'язку. Крім того, на відміну від радара, точність ADS-B серйозно не погіршується з дальністю, атмосферними умовами або висотою цілі, а інтервали оновлення не залежать від швидкості обертання або надійності механічних антен (рис.2.2).



Рисунок 2.2 – Принцип роботи звичайного радіолокатора

У типових додатках літак, що підтримує ADS-B, використовує звичайний приймач GNSS (GPS, Galileo тощо), щоб отримати своє точне положення із сузір'я GNSS, а потім поєднує це положення з будь-якою кількістю дискретних літальних апаратів, таких як швидкість, напрямок руху, висота та номер польоту. Потім ця інформація одночасно транслюється на інші літаки, що підтримують ADS-B, і на наземні приймачі ADS-B, або трансивери супутникового зв'язку, які потім в реальному часі передають положення повітряного судна та додаткову інформацію центрам управління повітряним рухом.

Варіант 978 МГц універсального доступу (UAT) також є двонаправленим і здатен надсилати в реальному часі Інформаційні служби польотів (FIS-B), такі як погода та інші дані, на літаки. У деяких районах звичайна інформація про стан радіолокаційного зв'язку, що не є ADS-B ("TIS-B"), також може бути підключена по висхідній лінії зв'язку [8].

Ведеться активна розробка концепції супутникового прийому даних ADS-B для забезпечення спостереження ОВС за рамками обмежень, характерних для наземних засобів, особливо в океанічних і полярних або віддалених сухопутних районах, де практично відсутня наземна інфраструктура спостереження. Ця концепція відповідає положенням резолюції А37-19 Асамблеї (Doc 9958), яка, зокрема, просить держави "прискорити діяльність з отримання екологічних вигод за рахунок застосування супутникових технологій, забезпечує можливість підвищення ефективності аеронавігації, і спільно з ІКАО здійснювати діяльність, спрямовану на отримання цих вигод у всіх регіонах".

Увага Асамблеї також звертається на рекомендації Дванадцятої аеронавігаційної конференції (Монреаль, 2012 рік). Рекомендація 1/7 (Doc 10007) визнає потенціал ефективного використання технології ADS-B і закликає держави співпрацювати за підтримки ІКАО в забезпеченні повної реалізації цих вигод.

Рекомендація 1/9 конкретно присвячена супутниковим системам ADS-B, їх включенню в глобальний аеронавігаційний план (ГАНП, Doc 9958) і необхідності розробки SARPS і інструктивного матеріалу, а також взаємодії між зацікавленими сторонами в підтримку даної технології. Крім того, Асамблеї слід звернути увагу на рекомендацію 1/16, в якій державам пропонується забезпечувати рівноправний, справедливий і ефективний доступ до всіх видів модернізації авіаційного обслуговування, включаючи авіацію загального призначення.

В даний час консорціум постачальників аеронавігаційного обслуговування (ПАНО) і галузевих партнерів веде розробку супутникової системи, яка буде використовувати приймачі ADS-B на супутниках полярного орбітального угруповання для забезпечення глобальної зони дії та подолання вищевказаних обмежень, характерних для наземних станцій ADS-B. Запуски супутників передбачається почати в 2015 році, а реалізація початкових експлуатаційних можливостей запланована на 2017 рік. Поставлена мета -

включити приймачі ADS-B до складу корисного завантаження на кожному супутнику. Супутникова мережа зможе отримувати повідомлення ADS-B від повітряних суден через міжсупутникові лінії зв'язку з наземними кінцевими станціями практично в режимі реального часу для передачі службам організації повітряного руху для подальшої обробки і відображення. В цьому зв'язку важливо відзначити, що пропонувані прикладні процеси зажадає такого ж бортового обладнання, яке використовується і для прийому даних наземного ADS-B. Це дозволить використовувати спостереження ОВС для підтримки забезпечення ешелонування в тих районах, де в даний час можуть використовуватися мінімуми процедурного ешелонування на основі мовних або автоматичних повідомлень про місцезнаходження. Як правило, процедурне ешелонування передбачає обмеження по абсолютній висоті, маршруту та / або швидкості, на яких повітряне судно виконує політ, для досягнення і підтримки встановленого вертикального, бічного або поздовжнього поділу між прогнозованими профілями польоту.

Початкові експлуатаційні випробування будуть проведені в повітряному просторі над північною частиною Атлантичного океану, яка вважається найбільш завантаженим з віддалених районів повітряного простору в світі. 85% повітряних суден, що виконують польоти в основній зоні цього повітряного простору, вже обладнані засобами ADS-B. Очікується, що цей показник, як і процентна частка для всього повітряного простору над північною Атлантикою, зросте в результаті прийняття Європейською комісією і Сполученими Штатами Америки нормативних документів, що вимагають обов'язкової установки на борту коштів ADS-B станом на 1 січня 2020 року. Можна розраховувати на те, що діючі та плановані вимоги щодо обладнання ADS-B в інших океанічних і віддалених районах будуть підтримувати використання супутникового прийому ADS-B на глобальній основі в аналогічні терміни.

Супутникова мережа зв'язку з функцією прийому даних ADS-B також розширить і доповнить існуючі наземні системи спостереження ОВС

постачальників аеронавігаційного обладнання (ПАНО) за рахунок включення океанічних, полярних і віддалених районів на глобальній та "безшовній" основі.

У порівнянні з діючими вимогами до застосування стандартів процедурного ешелонування використання супутникового прийому даних ADS-B в океанічних, полярних і віддалених районах дозволить:

- службам організації повітряного руху розширити надання послуг спостереження ОВС при підвищенні рівня безпеки польотів в найбільш завантажених та віддалених районах повітряного простору;

- скоротити емісію двоокису вуглецю та інших ПГ в рамках реалізації поставлених ІКАО екологічних цілей;

- використовувати скорочені інтервали ешелонування повітряних суден;

- значно розширити можливості використання оптимальних швидкостей і абсолютних висот і бажаних маршрутів;

- підвищити пропускну здатність і ефективність використання повітряного простору;

- реалізувати значні експлуатаційні вигоди і зменшити витрати на паливо для авіаперевізників.

Передбачувані вигоди підтримують діючі стратегічні цілі ІКАО "Безпека польотів та охорона навколишнього середовища" та "Сталий розвиток повітряного транспорту".

Концепція супутникового прийому даних ADS-B підтримує також чотири з п'яти пропонованих стратегічних цілей ІКАО на 2014-2016 рр., а саме:

- Безпека польотів. Підвищувати рівень безпеки польотів у цивільній авіації в усьому світі;

- Аеронавігаційний потенціал і ефективність. Підвищувати потенціал і ефективність глобальної авіаційної системи цивільної авіації;

- Економічний розвиток повітряного транспорту. Сприяти розвитку надійної і економічно життєздатної системи цивільної авіації;

- Охорона навколишнього середовища. Зводити до мінімуму несприятливий вплив цивільної авіації на навколишнє середовище.

Авіаційна галузь постійно шукає шляхи підвищення рівня безпеки польотів, отримання екологічних, експлуатаційних і фінансових вигод, особливо на маршрутах великої протяжності, на яких не здійснюється спостереження, і в зв'язку з цим можливість використання спрямованих маршрутів і гнучкої зміни абсолютної висоти дозволить домогтися значних успіхів у зменшенні обсягу палива, що спалюється і витрат для експлуатантів. Забезпечення супутникового прийому даних ADS-B буде сприяти більш ефективній організації використання повітряного простору та скорочення інтервалів ешелонування в океанічних і віддалених районах з подальшою реалізацією всіх цих вигод, особливо в найбільш завантажених океанічних районах.

Виходячи з вищевикладеного, Асамблеї пропонується схвалити концепцію супутникового прийому ADS-B, визнавши економічні та екологічні вигоди за рахунок підвищення ефективності організації повітряного простору в океанічних, полярних і віддалених районах [9].

3 РОЗРОБКА ADS-B ПУНКТУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОВІТРЯНИМ ПРОСТОРОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SDR ТЕХНОЛОГІЇ

3.1 Вибір радіоприймального устаткування

Так як пункт прийому ADS-B складається з SDR приймача, треба обрати недорогі та поширені на ринку пристрої на базі технології SDR. Існує багато пристроїв на базі SDR-технології. Як приклад, можна розглянути наступні SDR приймачі: Airspy, SDRplay RSP, HackRF, DVB-T [10].

Таблиця 3.1 – Заявлені характеристики і особливості SDR приймачів

	Airspy	SDRPlay RSP	HackRF	DVB-T тюнер
Частотний діапазон (МГц)	24-1800 0-1800 (з Spyverter)	0,1-2000	0,1-6000	0,1-1750
Розрядність АЦП, біт	12(10,4 NOB)	12 (10,4ENOB)	8	8
Ширина смуги огляду	10 (9МГц робочий)	8 (7 МГц робочий)	20	3
ТХ Передача	Немає	Немає	Є (полудуплекс)	Немає
Динамічний діапазон (заданий) (дБ)	80	67	~48	50 (в режимі CW)
Вхідні фільтри	Фільтр ПЧ на чіпі R820T2.	8 перемикаючих діапазонних фільтрів + перемикаючий фільтр ПЧ на чіпі MSi001	Два широкосмугових фільтра 2,3 ГГц ФНЧ, 2,7 ГГц ФВЧ	
АЦП, RF чіп	LPC4370 ARM, R820T2	MSi2500, MSi001	MAX5864, RFFC5071	RTL2832U+ R820T2

Продовження таблиці 3.1

Додаткові можливості	4,5 Впровадження фідера, зовнішнє введення частоти, інтерфейси розширень	вхідний МШП	5 Впровадження фідера, що входить МШП, зовнішнє введення частоти, інтерфейси розширень	Інтерфейс: USB 2.0. Операційна система: Windows, Linux, Android
Вартість, \$	37	26	70	30

Також, прикладом використання SDR технології є FM+DAB USB DVB-T RTL2832U+R820T2 тюнер (рис. 3.1). Основне його завдання полягає в прийомі сигналів телевізійного мовлення T-стандарту. При установці і налаштуванні відповідного програмного забезпечення такий тюнер здатен забезпечити радіоприйом в діапазонах частот від 500 кГц до 1750 МГц, авіадіапазон, та усі види модуляцій.

USB TV-тюнер складається з двох частин - апаратно-радіочастотної частини (визначає можливі частоти роботи) і цифрової частини (оцифровує сигнал і передає в комп'ютер по інтерфейсу USB).



Рисунок 3.1 – DVB-T тюнер FM+DAB USB DVB-T RTL2832U+R820T2

3.2 Вибір антенного пристрою

Для встановлення стійкого прийому треба правильно вибрати антену для діапазону частот, що використовуються. Відстань, на якій можливе здійснення радіозв'язку, залежить від обраної частоти, потужності передавача, типу і розміщення антенної системи, чутливості приймача, умов поширення радіохвиль. Для конкретного устаткування основним фактором, що визначає дальність зв'язку, є розміщення антени таким чином, щоб нічого не заважало для прямої видимості.

Оскільки в міських умовах присутня досить щільна забудова різними висотними об'єктами, то через специфіку поширення УКХ радіохвиль, антену необхідно встановити на найбільш високій точці, так як від цього буде залежати дальність прийому, захоплення сигналу при низьких висотах прольоту літака, так і діаграма захоплення території та мінімум мертвих зон.

Тип антени необхідно вибирати за такими фізичними характеристиками: антена повинна мати кругову діаграму спрямованості, і якомога більший коефіцієнт посилення сигналу. Можливе використання активних антен з вбудованим підсилювачем високої частоти, який живиться по сигнальному кабелю.

Розглядається антена УКХ діапазону типу «Collinear», яку за допомогою креслення (рис. 3.2) та доступних у продажу матеріалів таких як мідний дріт можна придбати в будівельних магазинах, роз'єм та припій можна придбати на радіоринку або в радіомагазині, після чого за допомогою електропаяльника можна спаяти в звичайних умовах.

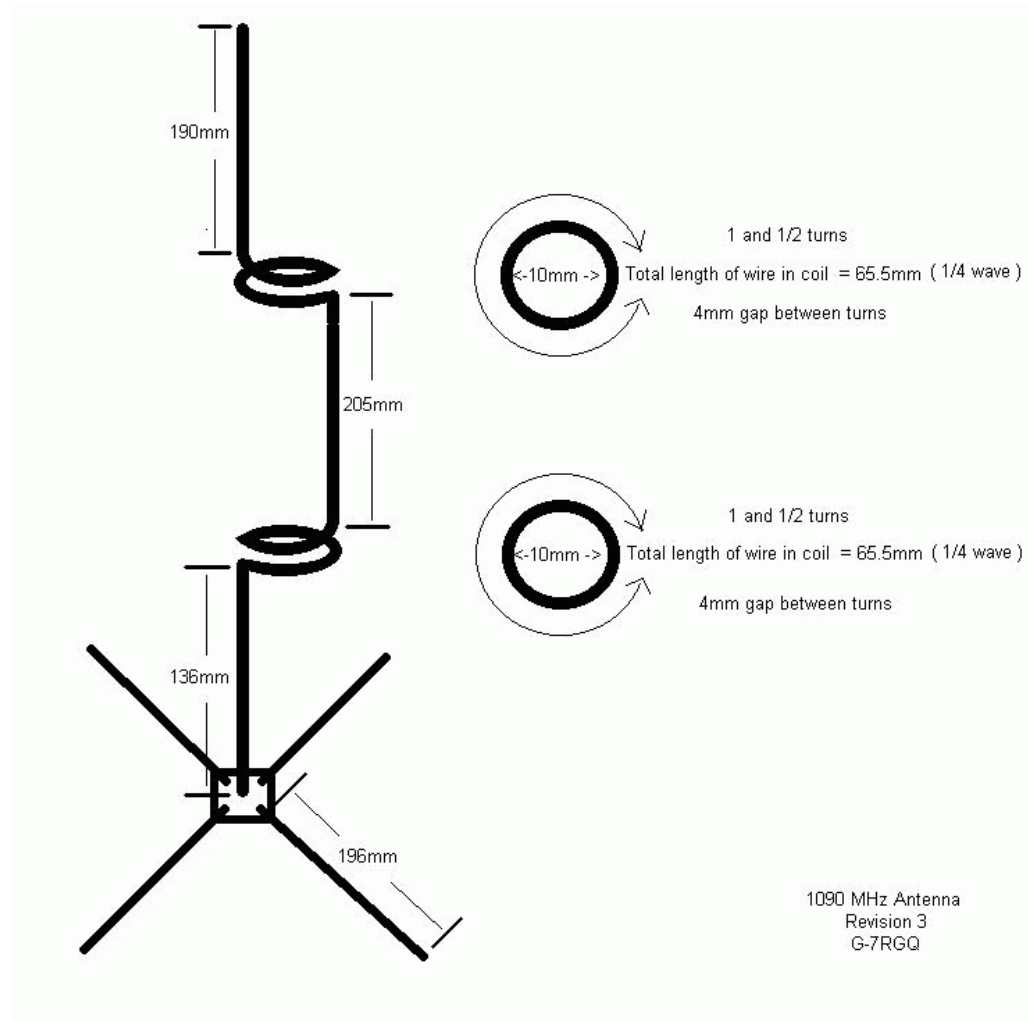


Рисунок 3.2 – Антена типу «Collinear»

Також можна використовувати готові антени інших типів виготовлення, за умовами кругової діаграми спрямованості. Наприклад існують такі антени: [11].

ADS-B 1090МГц активна антена [12] (рис.3.3) з наступними технічними характеристиками:

- робоча частота: 1090 ± 15 МГц;
- пасивне посилення: 2dBi (дипольна антена);
- поляризація антени: все направлена вертикальна лінійна поляризація;
- активне посилення: 20 дБ;
- відхилення від зовнішнього діапазону: > 30 дБ;
- робоча напруга: 2,5-5,5 V (шкіри негативний сердечник);
- робочий струм: 80 мА;

- хвильовий опір: 50 Ом;
- вага антени: 15 г;
- розміри: 20 x 179 мм;
- форма з'єднувача: SMA стандарт .



Рисунок 3.3 – Активна антена ADS-B

ADS-B 1090МГц антена на магнітній основі [12] (рис.3.4) з наступними технічними характеристиками:

- коефіцієнт підсилення: 5dBi;
- частотний діапазон: 1090 МГц;
- сумісність з: RTL SDR приймачем;
- характеристики: кріплення магнітного підстави;
- КСВ: менше 2,0;
- хвильовий опір: 50 Ом;
- напрямок: всеспрямований;
- антенний кабель: 3 метри RG174 коаксіальний кабель;
- кабельний з'єднувач: SMA штекер;
- адаптер: SMA Female до MCX штепсельного з'єднувача;
- вага нетто: 68 г;

– робоча температура: $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$

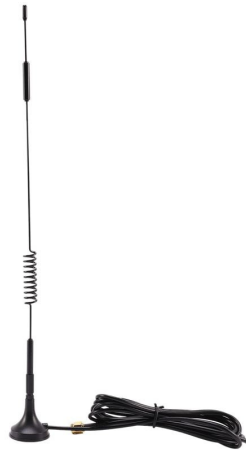


Рисунок 3.4 – Антена ADS-B на магнітній основі

3.3 Вибір програмного забезпечення для прийому ADS-B

Для запуску і управління SDR необхідно використовувати програму rtl1090. Вона дозволяє виставити необхідні параметри прийому і управляти SDR тюнером, як показано на рис. 3.5.

3.



4.

5. Рисунок 3.5 – Вигляд програми rtl1090

«START / STOP» – кнопка запуску/зупинки прийому.

«CONFIG» – вхід в настройки UDP порта та якщо потрібне координати місця розташування приймача.

«LIST» – відображення роботи приймача та прийняття даних.

«SEND UDP» – дублювання прийнятих даних в програму rtl1090 розташовану на іншому ПСВМ в мережі.

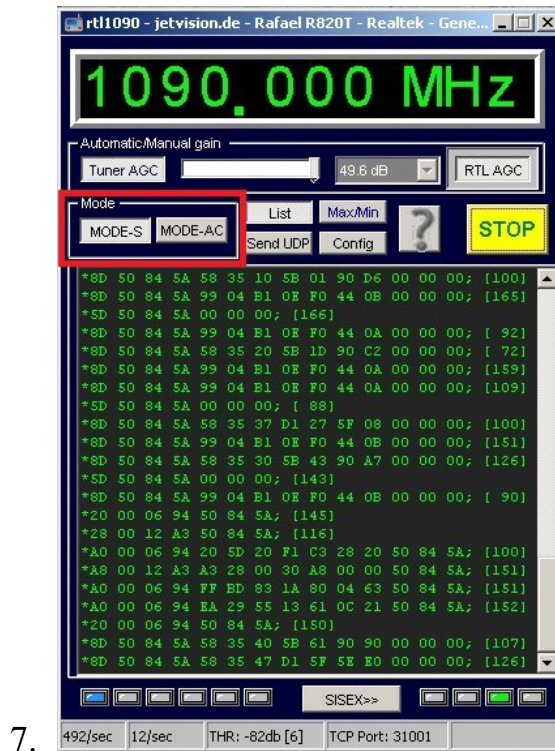
Повзунок «MANUAL GAIN» – ручне регулювання підсилення тюнера. Дозволяє самостійно змінювати посилення вхідного тракту тюнера при відключеній «TUNER AGC».

«TUNER AGC» – Автоматичне регулювання підсилення на ділянці "Вхід приймача - МШПУ - Змішувач". Дана АРР працює не дуже добре, багато що залежить від антени, умов прийому та діапазону, який ви приймаєте.

«RTL AGC» - Автоматичне регулювання підсилення на ділянці "Змішувач тюнера - АЦП RTL2832".

Блок «Mode» програми rtl1090 представлений на рис. 3.6

6.



7.

Рисунок 3.6 – Блок «Mode» програми rtl1090

8. «MODE-S» – сучасний режим роботи, в якому крім основних аеронавігаційних даних передаються координати повітряного судна.

«MODE-AC» – режим, в якому передаються дані про висоту, коди відповідача і ICAO-коди літака, координати не передаються.

9. «SISEX» – вигляд сигналів на заданій смузі, на цій частоті;

Ще також потрібно використовувати програмне забезпечення Virtual Radar Server для розшифровки сигналу ADS-B та місцезнаходження повітряного судна на мапі (рис. 3.7) [13].

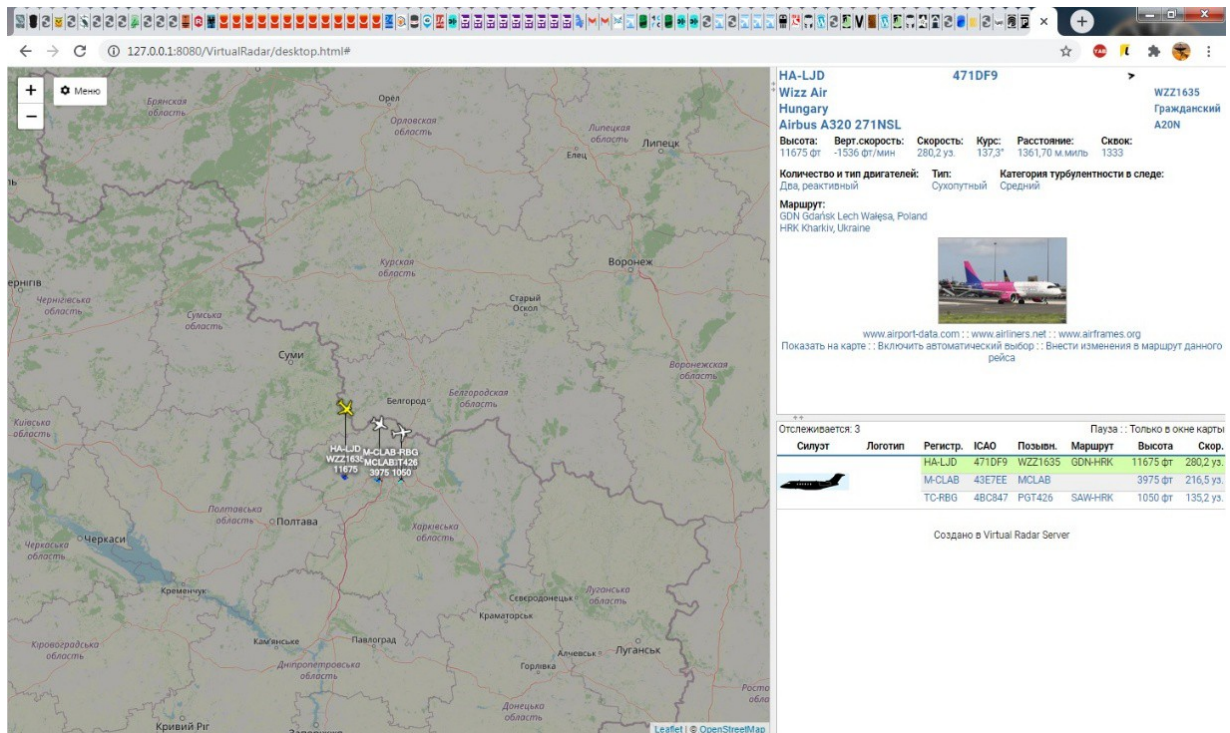


Рисунок 3.7 – Програмне забезпечення Virtual Radar Server

Після завантаження та встановлення Virtual Radar Server і правильного налаштування, Virtual Radar Server почав легко декодувати сигнали.

Основний веб-екран програми розділений на три частини. Перша частина, що зліва відображає карту місцевості, в якій працює приймач rtl1090 та всі повітряні судна, від яких приходять сигнали ADS-B. Друга частина, що справа вгорі відображає максимально відомі дані про виділене повітряне судно, навігаційні та польотні дані прийняті приймачем rtl1090, інші дані такі як рейс, пункт призначення, і не технічну інформацію щодо польоту - підтягнуті з загальної бази даних повітряних суден. Вікно, яке знаходиться праворуч внизу, відображає повний список повітряних суден і їх аеронавігаційні дані, від яких приходять дані на приймач rtl1090. Є меню, в якому можна налаштувати найзручніше інтерфейс головного вікна програми, виставити зручну мову, одиниці виміру, вид карти та інші налаштування.

До комплексного устаткування для приймання та розшифровки повідомлень входить EOM HP Pavilion dv5 на базі процесора Pentium Dual Core

T3400 2,17Ghz, ОЗП 2Gb, НЖМД 160Gb з USB портами та можливості з'єднання з мережею інтернет, та операційна система Windows будь-якої розрядності, інтернет з'єднання. SDR приймач FM+DAB USB DVB-T RTL2832U+R820T2, та антена типу «Collinear» (рис.3.8).

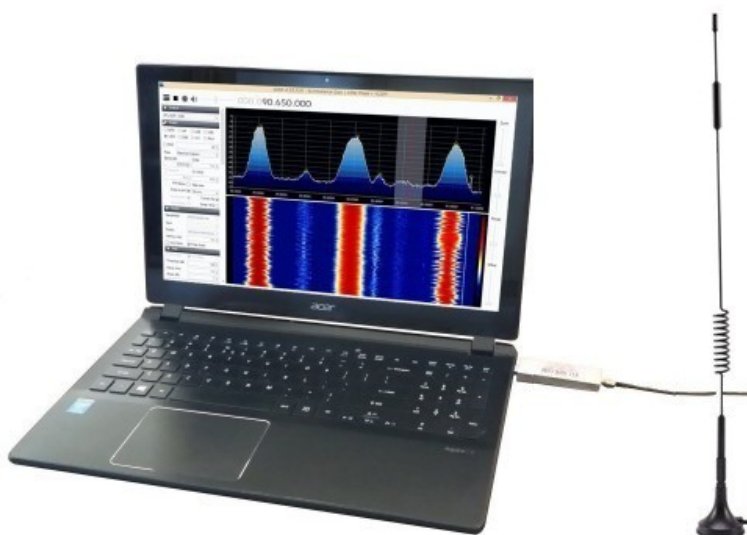


Рисунок 3.8 – Комплексне устаткування ADS-B

10. 4 АНАЛІЗ ПРИЙНЯТИХ ДАНИХ ADS-B ПУНКТУ СОСТЕРЕЖЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SDR УСТАТКУВАННЯ

4.1 Налаштування обладнання для ADS-B пункту спостереження

4.1.1 Налаштування EOM для роботи з SDR приймачем

Для приймання радіочастоти 1090 мГц необхідно налаштувати EOM з SDR приймачем, для цього треба використовувати EOM та програму rtl1090 [14]. В якості EOM буде застосований звичайний ноутбук або ПК, не останніх розробок, а який доступний більшості людей.

Таблиця 4.1 – Приклад характеристик звичайного EOM

Процесор	ОЗП	Жорсткий диск	Відеокарта	Мережева карта	Порт	ОС
Intel Dual Core 2.16Ghz	2Gb	160Gb	інтегрована	WI-FI або IEEE 802.3, 802.3u	USB	Microsoft Windows

Потім необхідно налаштувати rtl1090 для роботи з SDR тюнером (налаштування приймача). Смугу частот не можна змінювати, але можна змінювати рівень підсилення. Чим більше смуга, тим більше навантаження на процесор. Але в даному випадку використовується вузька смуга. У програмі існують режим роботи RTL пристрою (Sampling Mode), режими оцифровки I каналу або Q каналу. Це специфічні режими і в даних умовах потреби в них немає. Так само в програмі є регулювання підсилення:

- автоматичне регулювання підсилення на ділянці "Змішувач тюнера - АЦП" (RTL AGC);
- автоматичне регулювання підсилення на ділянці "Вхід приймача - МШПУ - Змішувач" (Tuner AGC);
- ручне регулювання підсилення тюнера. Дозволяє самостійно змінювати підсилення вхідного тракту тюнера при відключеній Tuner AGC.

Для передачі даних радіосигналів ADS-B необхідно обрати порт. Тепер коли програма налаштована на роботу з вашим приймачем можна починати роботу. Приклад роботи програми можна спостерігати на рисунку 4.1.

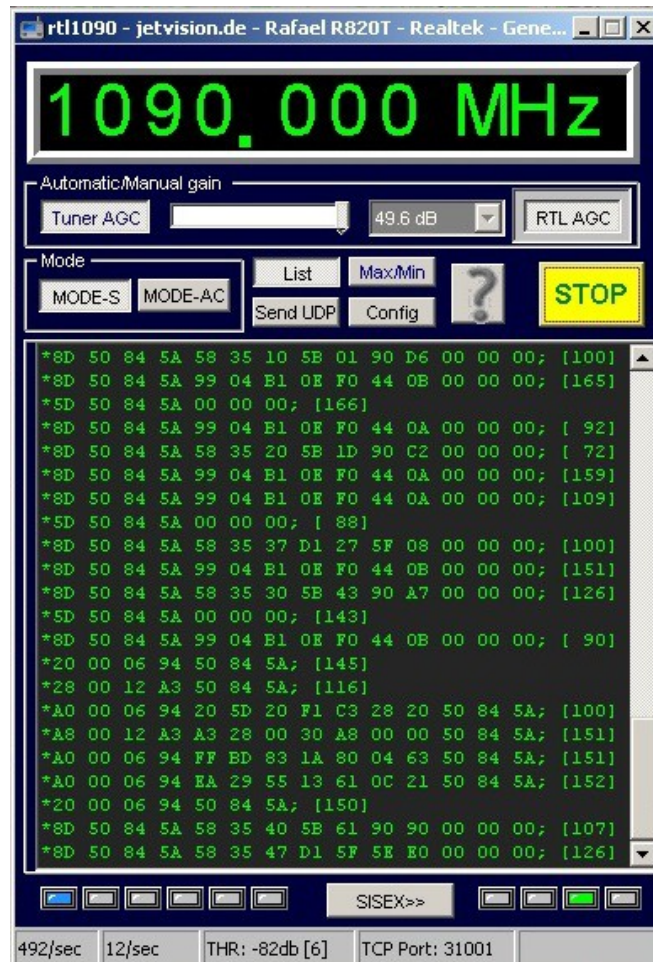


Рисунок 4.1 – Приклад роботи програми rtl1090

4.1.2 Налаштування ПЗ ЕОМ для ADS-B пункту спостереження

Коли SDR приймач налаштовано та встановлена програма rtl1090, яка ним керує - необхідне налаштування програмного забезпечення для розшифровки і виявлення ADS-B повітряних суден.

Оскільки програми rtl1090 та Virtual Radar Server займають мало простору на жорсткому диску 3,5Мб та 18,5Мб, то розмір жорсткого диска в ЕОМ не має великого значення, також треба зазначити, що при необхідності

реєструвати повідомлення на видаленому сервері, ЕОМ під'єднується до мережі.

В програмі rtl1090 після встановлення в операційну систему необхідно ghjdtcnb деякі налаштування. При необхідності транслювання даних до іншого декодера, встановлюється адреса та порт UDP іншого сервера, TCP порт використовується 31001, та координати місця приймання (широта і довгота), зробити це потрібно на закладці «Home location» в полях «Home Latitude» та «Home Longitude» потім натиснув кнопку «Save+close».

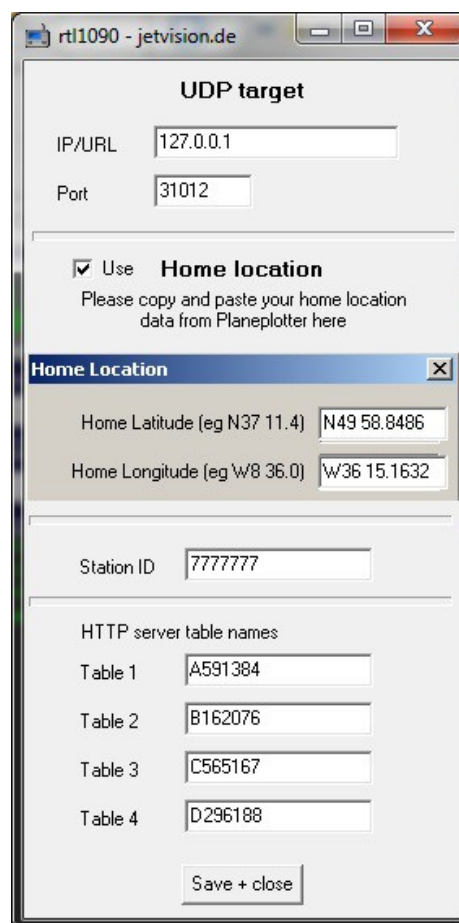


Рисунок 4.2 – Налаштування програми rtl1090

Треба вручну вказати режим прийому «MODE-S» або «MODE-AC» також необхідно вказати з яким режимом підсилення треба приймати дані з тюнера «Tuner AGC» або «RTL AGC» або ручне фіксоване керування «Manual gain»



Рисунок 4.3 – Налаштування підсилювання прийому даних

Програма Virtual Radar Server, яка в свою чергу буде обробляти вміст отриманих даних, та видавати повітряні судна на мапі світу, а потім відправляти на вказаний в ній віддалений сервер, якщо потрібно.

Для налаштування програми Virtual Radar Server необхідно на вкладці «Інструменти» обрати «Параметри» ввести необхідні параметри налаштувань в закладках: «Джерела даних», «Приймачі», вказати розташування «Місто знаходження приймачів», «Об'єднання потоків», «Ретранслюючі сервери», «Користувачі», «Декодування RAW даних», «Веб-сервер», «Веб-сайт», та «Загальні» потім натиснув кнопку «ОК».

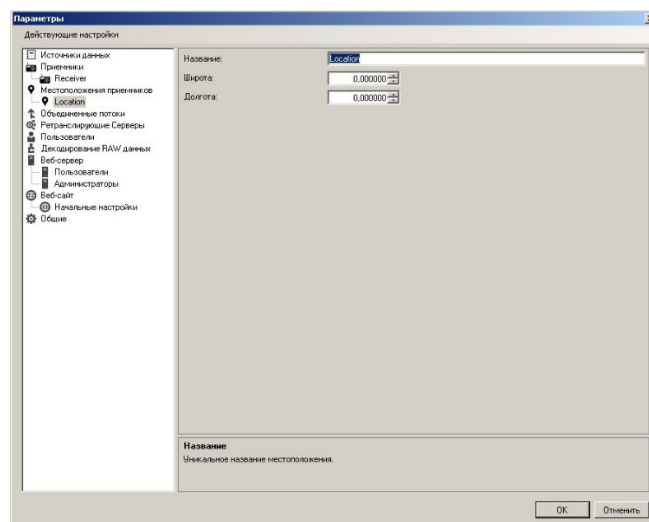


Рисунок 4.4 – Вказання географічного місцезнаходження приймача

Потім необхідно зазначити приймач від програми «rtl1090» вказати адресу сервера «Адреса» та порт «Порт» за замовчуванням він «31001». Необхідно також поставити галки в полях: «Увімкнути», «Відправляти keep-alive пакети».

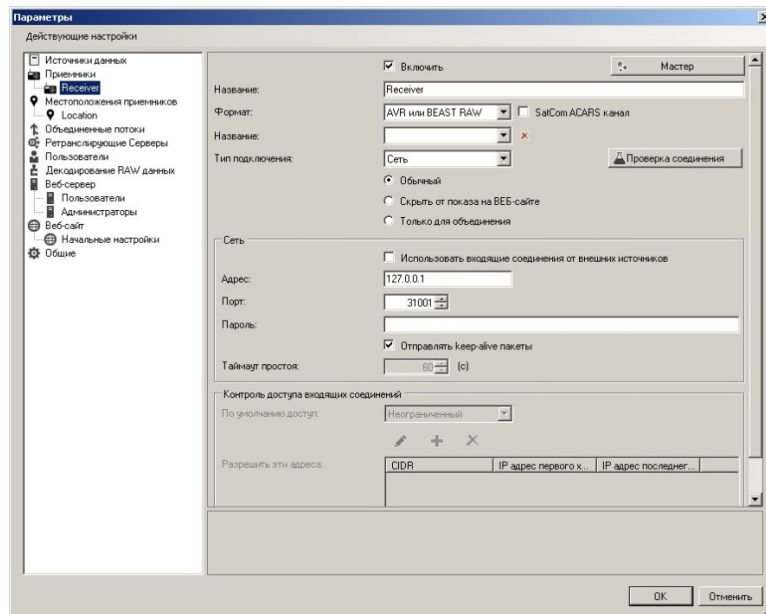


Рисунок 4.5 – Налаштування приймача для програми Virtual Radar Server

Є також багато налаштувань стосовно баз даних повітряних суден, та переадресації даних на інші сервери та інші. Можливості програми достатньо багаті, під неї існують навіть окремі плагіни.

4.2 Прийом радіоданих повітряних суден у ADS-B

Для прийому радіоданих повітряних суден у ADS-B необхідно підключити SDR приймач через USB роз'єм до комп'ютера (EOM), встановити драйвера та інсталиювати rtl1090 [13].

SDR тюнер налаштували на робочу частоту 1090 мГц (рис. 4.6) де і спостерігалася ефірна активність на заданій смузі, на цій частоті.

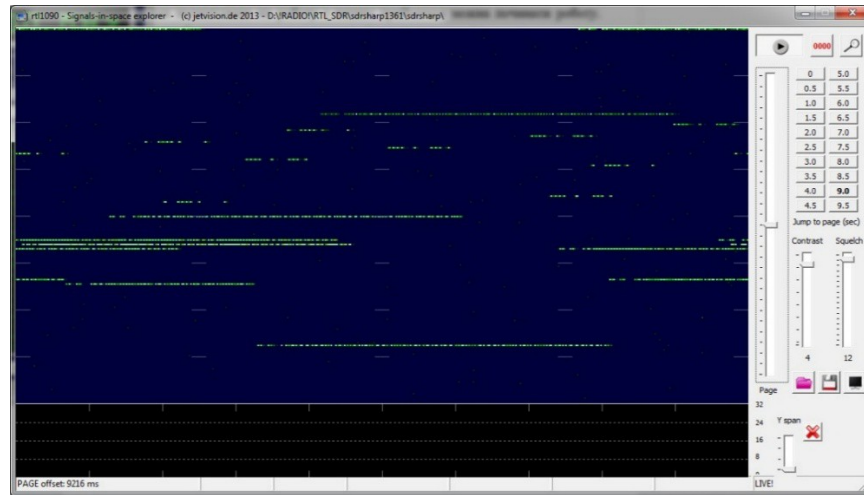


Рисунок 4.6 – Вигляд смуги сигналу в програмі rtl1090

Потім, бачимо розшифровку сигналу програмою rtl1090 вже в HEX вигляді.

```

*8D 50 84 5A 58 35 10 5B 01 90 D6 00 00 00; [100]
*8D 50 84 5A 99 04 B1 0E F0 44 0B 00 00 00; [165]
*5D 50 84 5A 00 00 00; [166]
*8D 50 84 5A 99 04 B1 0E F0 44 0A 00 00 00; [ 92]
*8D 50 84 5A 58 35 20 5B 1D 90 C2 00 00 00; [ 72]
*8D 50 84 5A 99 04 B1 0E F0 44 0A 00 00 00; [159]
*8D 50 84 5A 99 04 B1 0E F0 44 0A 00 00 00; [109]
*5D 50 84 5A 00 00 00; [ 88]
*8D 50 84 5A 58 35 37 D1 27 5F 08 00 00 00; [100]
*8D 50 84 5A 99 04 B1 0E F0 44 0B 00 00 00; [151]
*8D 50 84 5A 58 35 30 5B 43 90 A7 00 00 00; [126]
*5D 50 84 5A 00 00 00; [143]
*8D 50 84 5A 99 04 B1 0E F0 44 0B 00 00 00; [ 90]
*20 00 06 94 50 84 5A; [145]
*28 00 12 A3 50 84 5A; [116]
*A0 00 06 94 20 5D 20 F1 C3 28 20 50 84 5A; [100]
*A8 00 12 A3 A3 28 00 30 A8 00 00 50 84 5A; [151]
*A0 00 06 94 FF BD 83 1A 80 04 63 50 84 5A; [151]
*A0 00 06 94 EA 29 55 13 61 0C 21 50 84 5A; [152]
*20 00 06 94 50 84 5A; [150]
*8D 50 84 5A 58 35 40 5B 61 90 90 00 00 00; [107]
*8D 50 84 5A 58 35 47 D1 5F 5E E0 00 00 00; [126]

```

492/sec 12/sec THR: -82db [6] TCP Port: 31001

Рисунок 4.7 – Отримані дані в програмі rtl1090

Виртуальный Радар (3) | 127.0.0.1/VirtualRadar/desktop.html

OE-FKO 440346
 Avcon Jet AG
 Austria
 Cessna Citation CJ2+

Высота: 8016 м | Верт. скорость: 449 м/мин | Скорость: 699,9 км/ч | Курс: 237,9° | Расстояние: 2520,27 км | Скор.: 4512

Количество и тип двигателей: Два, реактивный | Тип: Сухопутный | Категория турбулентности в следе: Легкий

Маршрут: Маршрут не известен

Отслеживается: 3 | Пауза: Только в окне карты

Силуэт	Логотип	Регистр.	ICAO	Позывн.	Маршрут	Высота	Скор.
		TC-LOF	4B81E6			11887 м	975,4 км/ч
		OE-FKO	440346	AOJ48L*		8016 м	699,9 км/ч
		TC-RBE	4BC845	PGT388	SAW-DME	10353 м	714,7 км/ч

Создано в Virtual Radar Server

Виртуальный Радар (2) | 127.0.0.1/VirtualRadar/desktop.html

TC-RBC 4BC843
 Pegasus Airlines
 Turkey
 Airbus A321 251NXSL

Высота: 10249 м | Верт. скорость: -312 м/мин | Скорость: 726,7 км/ч | Курс: 41,7° | Расстояние: 2482,62 км | Скор.: 6352

Количество и тип двигателей: Два, реактивный | Тип: Сухопутный | Категория турбулентности в следе: Средний

Маршрут: SAW Sabiha Gökçen, Istanbul, Turkey
 HRK Kharkov, Ukraine

www.airport-data.com :: www.airliners.net :: www.airframes.org
 Показать на карте :: Включить автоматический выбор :: Внести изменения в маршрут данного рейса

Отслеживается: 2 | Пауза: Только в окне карты

Силуэт	Логотип	Регистр.	ICAO	Позывн.	Маршрут	Высота	Скор.
		TC-RBC	4BC843	PGT428	SAW-HRK	10249 м	726,7 км/ч
		5001B6	T7TAS			2499 м	233,7 км/ч

Создано в Virtual Radar Server

Рисунок 4.8 – Перегляд на мапі світу повітряних суден, сигнал з яких був прийнято на час спостереження

Як видно, в результаті роботи SDR приймача і прийому сигналу на даній частоті, в програмі rtl1090 спостерігається активність, відбулося спрацювання автоматичного підстроювання в обраній смузі, після чого програма почала прийом і розшифровку сигналу, після чого дані транлювалися в TCP порт 31001.

4.3 Фіксація повітряних суден на мапі світу.

Фіксація об'єктів прийнятих в повідомленнях відображається на мапі світу за допомогою програми Virtual Radar Server (рис. 4.10) На даних знімках показані об'єкти приймання на хвилі 1090 мГц.

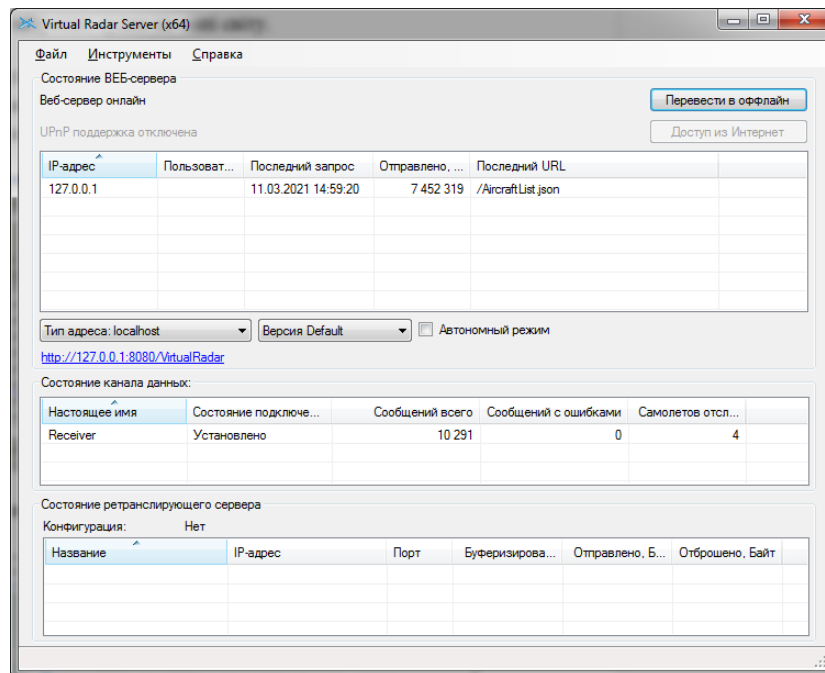


Рисунок 4.9 – Стан повідомлень та з'єднання з програмою rtl1090 за допомогою TCP порта 31001 в програмі Virtual Radar Server

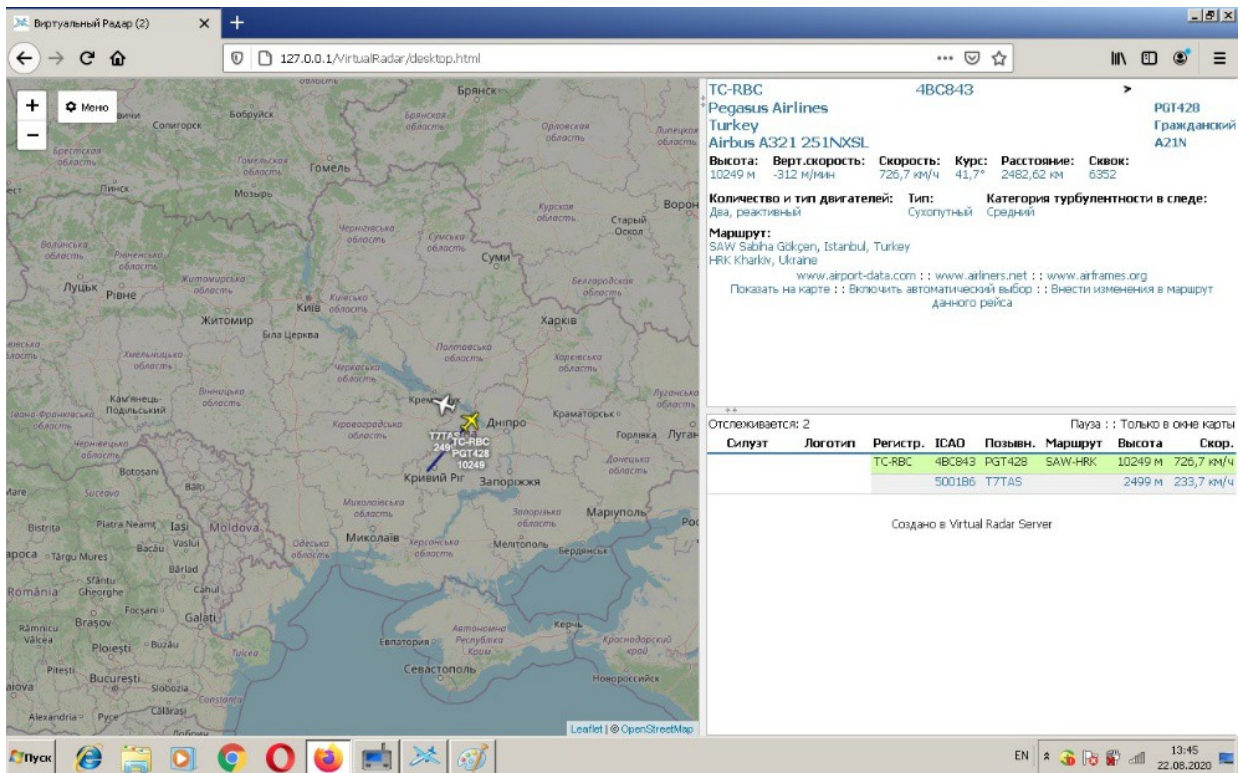


Рисунок 4.10 – Мапа повітряних суден, які були прийняті та ідентифіковані

Є повітряні судна, які передають неповну, або обмежену інформацію, із-за чого програма не може встановити ті або інші дані польоту, такі як місце призначення, часткова телеметрія (рис. 4.11). Такі повітряні судна можуть вилітати по спеціальному призначенню, або здійснювати приватні польоти. Також до такої категорії відносяться повітряні судна військового призначення (рис. 4.12), з якого передаються тільки: висота, ICAO номер, реєстраційні номери. Але цих даних недостатньо для того, щоб побачити його місце розташування на мапі, тому для виявлення координат його місця розташування можливо аналоговими радарними установками або більш технологічними іншими типами радарного обладнання.

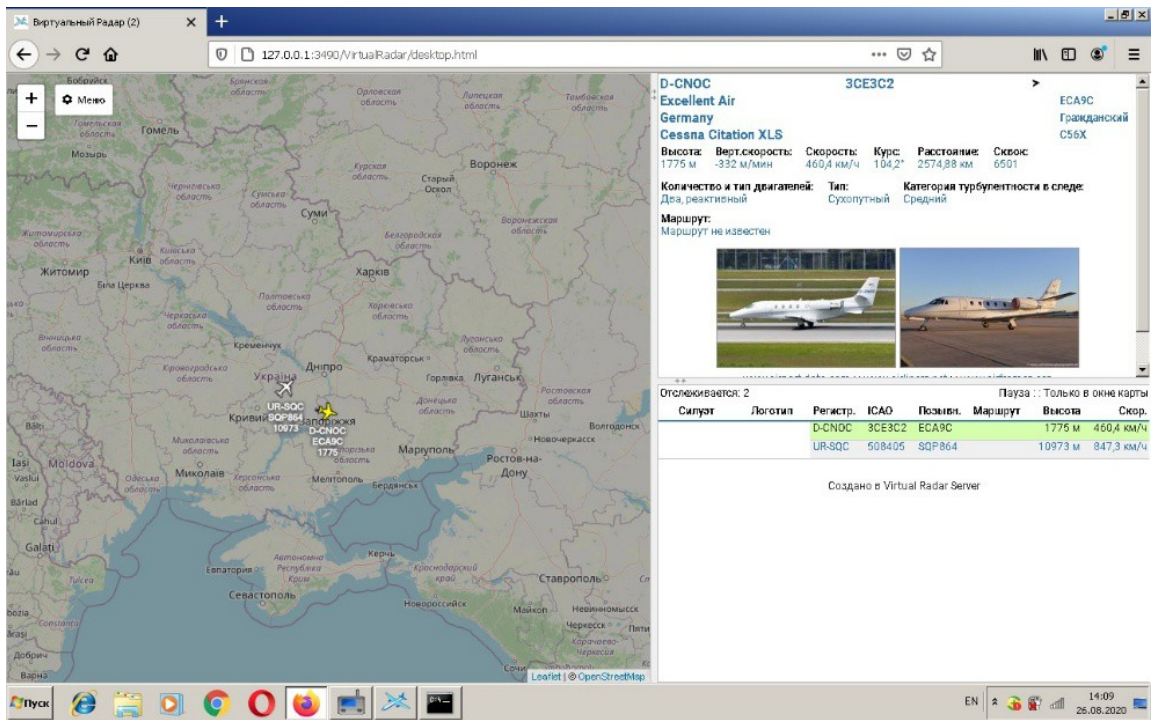


Рисунок 4.11 – Мапа повітряних суден, які були прийняті, але інформація про них обмежена

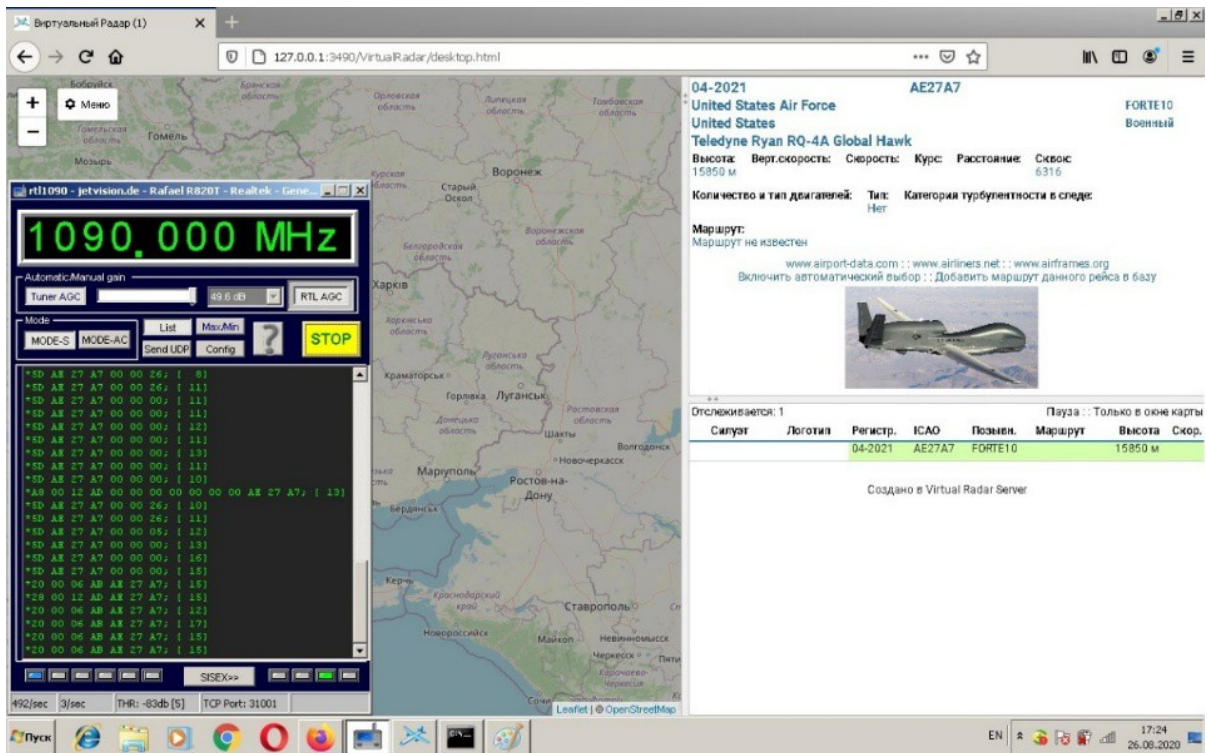


Рисунок 4.12 – Прийнято сигнал з повітряного судна військового призначення

Після практичного використання обладнання та спостереження було визначено радіус захоплення сигналів з повітряних об'єктів, який склав приблизно 250 км.

4.4 Можливості реєстрації прийнятих повідомлень на віддаленому сервері

Можливість програми Virtual Radar Server дозволяє створити глобальний або сегментний пункт спостереження, об'єднав потоки безлічі точок прийому даних на одній мапі, після чого аналізуючи їх.

За допомогою програми rtl1090 є можливість передавати зібрану та розшифровану інформацію на сторонній зовнішній веб-ресурс (загальний Virtual Radar Server), який отримує дані з різних джерел інших приймачів, щоб доповнити загальну карту покриття інформацією з нашої ділянки прийому повітряних суден.

Таким чином, збираючи дані з безлічі пунктів спостереження, можна проводити аналіз повітряного руху за досить широкою територією, аж до того чи іншого континенту або всією земною поверхнею планети. За допомогою TCP порта 31001. Приклад зображено на рисунку 4.13.

Також крім Virtual Radar Server існує програмне забезпечення інших виробників таких як Planeplotter, Flightradar24, за допомогою використання інших моделей приймачів, які теж можна застосовувати для таких цілей.

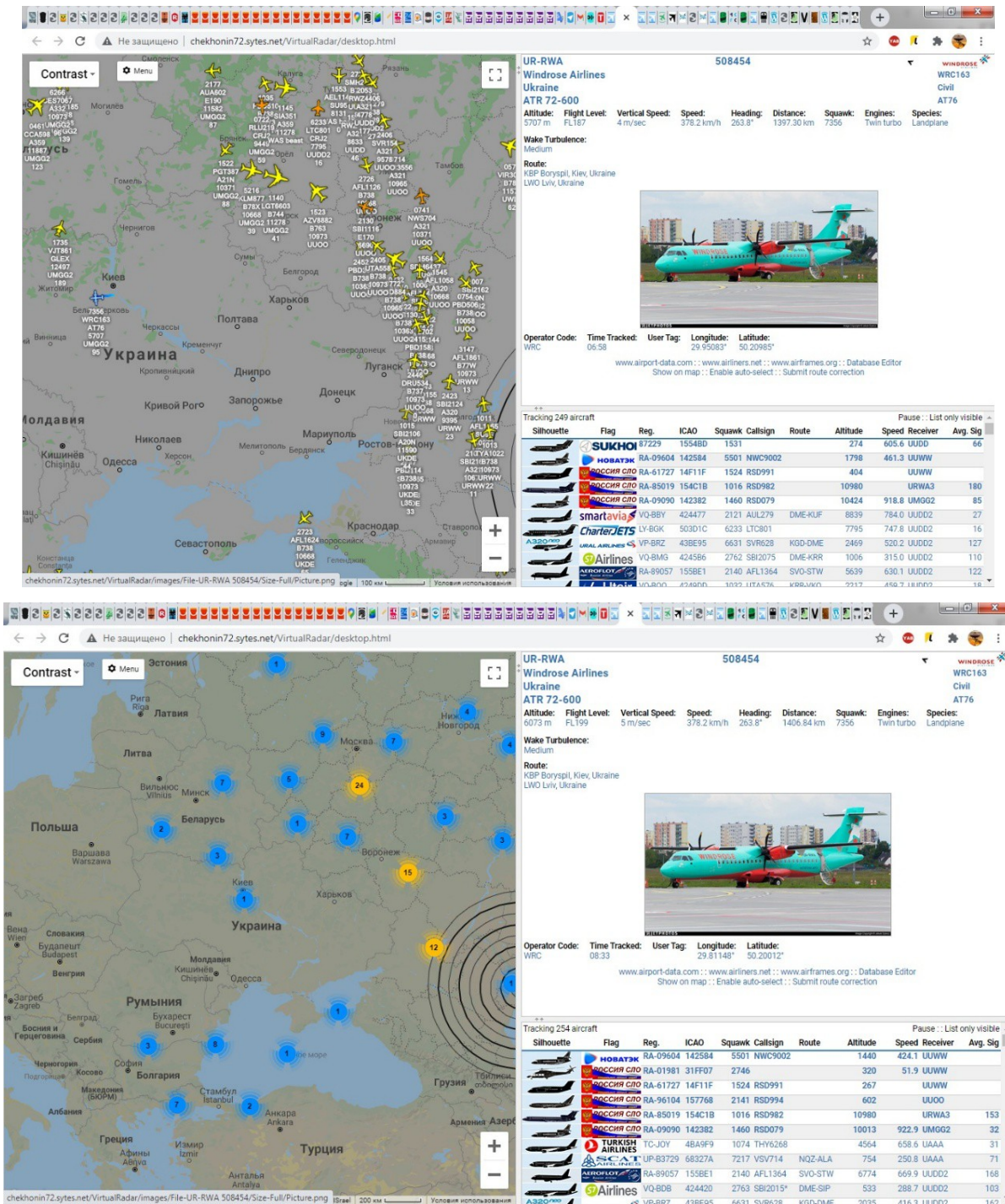


Рисунок 4.13 – Приклад зовнішнього сервера на базі ПО Virtual Radar Server

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі виконана реалізація пункту спостереження, який використовує методи побудови програмно-обумовленого радіо SDR для організації спостереження за повітряним простором, що дає можливість здійснити це без використання дорогого професійного обладнання, та за рахунок низької собівартості і доступності компонентів можна встановити безліч подібних пунктів спостереження, розширити спостереження за межі радіовидимості того чи іншого диспетчерського пункту аеродрому.

Розглянуті частотні діапазони роботи ADS-B. Сигнали ADS-B були прийняті за допомогою SDR тюнера та антени на частоту ADS-B, яку можна виготовити самому або придбати готову. Зафіксовані програмним забезпеченням та оброблені дані потім аналізуються та заносяться на мапу світу. Під час проведення роботи доведена можливість участі в прийомі і аналізі радіоданих паралельно з диспетчерами аеродромів, щоб доповнити/допомогти прийнятою інформацією рятувальним службам, у яких могло бути недостатньо інформації про переміщення повітряних суден, або її повна відсутність, через віддаленість розташування від покриття обладнання аеродромів, пов'язаних з поширенням радіохвиль.

Таким чином, всі пункти технічного завдання виконані.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Все, що ви хотіли знати про ADS-B, але боялись погуглити. URL: <https://tovsoty.com/ua/publication/vse-cho-vy-hoteli-znat-ob-ads-b-no-boyalis-poguglit> (дата звернення 12.04.2021).
2. Міжнародна організація цивільної авіації URL: https://www.icao.int/Meetings/HLSC2015/Documents/WP/wp048_rev1_ru.pdf (дата звернення 15.04.2021).
3. Рембовський А.М. Радіомоніторинг: завдання, методи, засоби. *А.М. Рембовський, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмін. - 3-е вид., Перераб. і доп. - М.: Горяча лінія - Телеком, 2012.*
4. Компанія по продажу авіаційного радіотехнічного обладнання Trust Aerosupermarket URL: <http://trast-aero.com/ru/catalog/Multifunction-Displays/EX500/info-Dopolnitel-no76.html> (дата звернення 16.04.2021).
5. Компанія по продажу авіаційного радіотехнічного обладнання South Pacific Avionics URL: <http://shop.avionics.co.nz/axp340> (дата звернення 18.04.2021).
6. Модуль швидкого перетворення Фур'є О. Гребенніков. *Сучасна електроніка. - 2012.*
7. Автоматическое завиимое наблюдение-трансляция/ADS-B URL: <http://npcas.ru/wiki/avtomaticheskoe-zavisimoe-nablyudenie-translyatsiya-ads-b.html> (дата звернення 20.04.2021).
8. ADS-B Technologies URL: <http://www.ads-b.com/> (дата звернення 20.04.2021).
9. Міжнародна організація цивільної авіації URL: https://www.icao.int/Meetings/a38/Documents/WP/wp132_ru.pdf (дата звернення 21.04.2021).

10. Сравнение SDR приёмников: Airspy, SDRplay и HackRF . Часть 1
URL: <http://myhamradio.ru/sdr/sravnenie-sdr-priyomnikov-airspy-sdrplay-i-hackrf-chast-1.html> (дата звернення 22.04.2021).

11. Antonovich.me URL: <https://antonovich.me/2017/1/5/diy-radar/> (дата звернення 23.04.2021).

12. AliExpress URL: https://aliexpress.ru/item/1005001451598750.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.45c62a5a9U3z99&algo_pvid=48c8481a-70f7-4e88-9b0f-9efb0feaa023&algo_expid=48c8481a-70f7-4e88-9b0f-9efb0feaa023-0&btsid=0b8b037016197234953518530e194c&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_searchweb201603_&sku_id=12000016164848264 (дата звернення 24.04.2021).

13. Virtual Radar Server URL:
<https://www.virtualradarserver.co.uk/Download.aspx> (дата звернення 24.04.2021).

14. RTL1090 SOFTWARE FOR ADS-B DONGLES URL:
<https://rtl1090.com/> (дата звернення 25.04.2021).