

УДК 621.396

<sup>1</sup>В.П. Харченко, д.т.н., проф.  
<sup>2</sup>Ю.М. Барабанов, к.т.н., доц.  
<sup>3</sup>А.М. Грехов, д.ф.-м.н., проф.  
<sup>4</sup>М.О. Газнюк, фахівець I категорії  
<sup>5</sup>М.В. Колчев, студ.

## СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОВІТРЯНИМ РУХОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ADS-B СИСТЕМИ

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: kharch@nau.edu.ua

<sup>2</sup>E-mail: brbnv@i.ua

<sup>3</sup>E-mail: grekhovam@ukr.net

<sup>4</sup>E-mail: maksumg@ua.fm

<sup>5</sup>E-mail: peper0007@gmail.com

*Для спостереження за повітряним рухом створено систему для прийому ADS-B сигналів. Розглянуто виготовлені для цього антени, приймач ADS-B сигналів, декодер та встановлене програмне забезпечення для комп'ютера. Показано, що система використовується в навчальному процесі під час проведення лабораторних робіт та для виконання студентських наукових досліджень.*

**Ключові слова:** система для прийому ADS-B сигналів, спостереження за повітряним рухом.

### Постановка проблеми

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) – це нова технологія спостереження за повітряним рухом, яка впроваджується зараз на території Європи, США та інших країн [1]. Програма ЄВРОКОНТРОЛЯ CASCADE [2] координує впровадження ADS-B систем у Європі.

Саме тому актуальним є ознайомлення з новою технологією спостереження студентів та використання в навчальному процесі засобів отримання ADS-B сигналів і дослідження за їх допомогою повітряного трафіку.

### Аналіз досліджень і публікацій

Обладнане ADS-B трансивером повітряне судно протягом усього польоту передає в реальному часі свої точні координати, швидкість, висоту, курс та іншу інформацію [3]. Доступ до ADS-B інформації безкоштовний і вільний для всіх.

ADS-B сигнал може прийматися на землі для цілей спостереження (ADS-B-out) або іншими повітряними суднами для отримання інформації щодо навколишнього трафіку (ADS-B-in) і запобігання зіткнень [4].

ADS-B-out система почала функціонувати в 2008 р., ADS-B-in – в 2011 р. Система ADS-B-out може використовуватися для цілей спостереження самостійно, а також разом із радаром і системами MLAT (Multilateration).

Для передачі ADS-B повідомлень використовується режим транспондера Mode S Extended Squitter [5].

Бортові транспондери передають дані на частоті 1090 МГц. Для прийому таких повідомлень необхідно мати приймач сигналів на цій частоті – ADS-B приймач.

Частота 1090 МГц належить до L-діапазону. Електромагнітні хвилі з такими високими частотами поширюються в атмосфері прямолінійно, не відбиваючись від іоносфери. Приймачи такі сигнали можна лише в тому випадку, якщо між літаком і приймальною антеною немає перешкод.

Приймальна антена повинна бути встановлена якнайвище і мати вільний простір у всіх напрямках.

Чим більше висота літака, тим на більшій відстані може бути прийнятий сигнал.

Наприклад, сигнал від літака, що перебуває на висоті 30 000 футів (10 км) може бути прийнятий на відстані до 350 км. Для цього необхідні чутливі антена і приймач. Якщо розглядати відстані до літака в межах 100 км, то можливий прийом ADS-B сигналів навіть із використанням простого обладнання.

У літературі відомі описи компонентів для простих ADS-B систем [6; 7].

**Мета** роботи – побудова простої системи для прийому ADS-B сигналів та проведення за її допомогою спостереження за повітряним рухом.

### Структурна схема ADS-B системи

Система, що приймає ADS-B сигнали, може використовуватися як віртуальний радар для створення в реальному часі картини повітряного трафіка і складається з чотирьох компонентів (рис. 1):

- антени;
- приймача;
- декодера;
- програмного забезпечення комп'ютера.

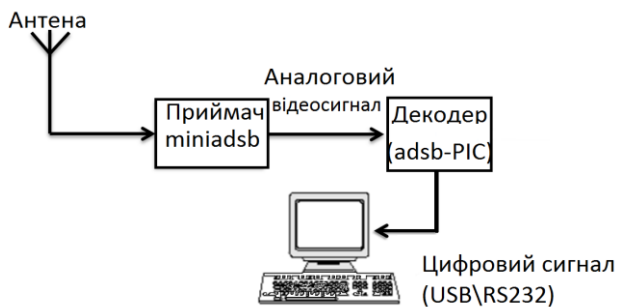


Рис. 1. Система для прийому ADS-B сигналів

Антенa приймає сигнал на частоті 1090 МГц і перетворює його у високочастотний електричний сигнал.

Приймач виділяє, підсилює, демодулює прийняті сигнали і генерує аналоговий відеосигнал.

Декодер перетворює аналоговий відеосигнал у цифровий і детектує ADS-B повідомлення.

ADS-B сигнали потім через порт USB передаються на комп'ютер.

За допомогою програмного забезпечення комп'ютер декодує ADS-B інформацію і генерує віртуальний дисплей радара.

В ADS-B системі реалізовано miniadsb-приймач [6], декодер adsb-PIC і програмне забезпечення adsbScore [7].

Сигнали транспондера поляризовані у вертикальній площині, і їх потрібно приймати антеною з вертикальною поляризацією на частоті 1090 МГц.

Найпростішою антеною є вертикально розташований дріт довжиною 0,13 м, що відповідає половині довжини хвилі з частотою 1090 МГц [7]. Така антенa є електричним диполем і може приймати сигнал з усіх напрямків.

Для підвищення чутливості антени потрібно взяти декілька електричних диполів. Але якщо їх розташувати поруч одним із одним, то антенa перестане бути ненапрявленою. Тому окремі диполі розташовують один над одним. Крім того, диполі повинні бути з'єднані.

Верхній і нижній кінці кожного диполя осцилюють зі зсувом по фазі на 180 град. З'єднання диполів здійснюється за допомогою горизонтальних витків довжиною  $\lambda/2$  (0,13 м), які виконують роль пристроїв для зсуву фази на 180 град (рис. 2).

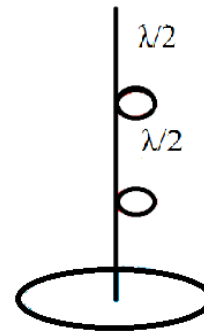


Рис. 2. Антенa для прийому ADS-B сигналів

Диполі та витки виготовляють з одного довгого куска дроту. Діаметр дроту повинен забезпечити необхідну жорсткість антени. Нижній кінець такої сукупності диполів приєднаний до середнього дроту 50-омного коаксіального кабеля.

Для заземлення може використовуватися кругла металева пластина діаметром  $\lambda/2$  (0,13 м) або куски радіально розташованого дроту (як мінімум чотири дроти під кутом 90 град один до одного).

Імпеданс антени не є узгодженим з імпедансом кабеля, але його можна змінювати згинанням дротів донизу. Змінюючи довжину горизонтальних витків між диполями, можна змінювати кут підйому діаграми спрямованості антени.

До приймача ADS-B сигналів (рис. 3) антенa приєднується за допомогою коаксіального кабелю з опором 50 Ом [7].

З'єднання приймача з декодером здійснюється за допомогою трьох провідників:

- живлення;
- «земля»;
- аналоговий відеосигнал.

Основним елементом декодера є мікроконтролер PIC18F2550 (рис. 4). Він перетворює аналоговий відеосигнал у цифровий із використанням внутрішнього компаратора. Отримані ADS-B повідомлення передаються через порт USB на персональний комп'ютер.

Після виготовлення декодера завантажується boot файл в PIC18F2550, що підключається до плати декодера. За допомогою програмного забезпечення USBoot декодер «прошивається» і готовий до роботи.

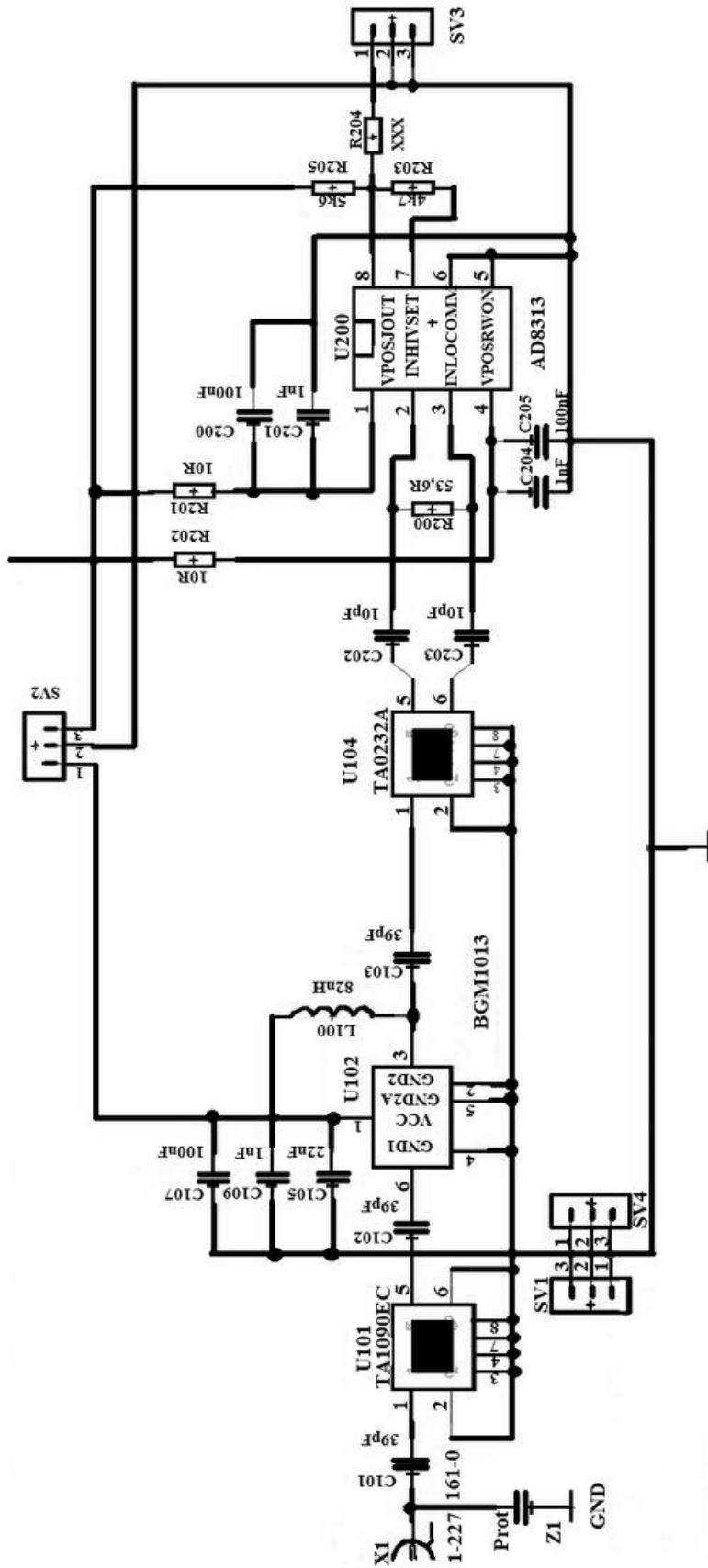


Рис. 3. Принципова схема ADS-B приймача

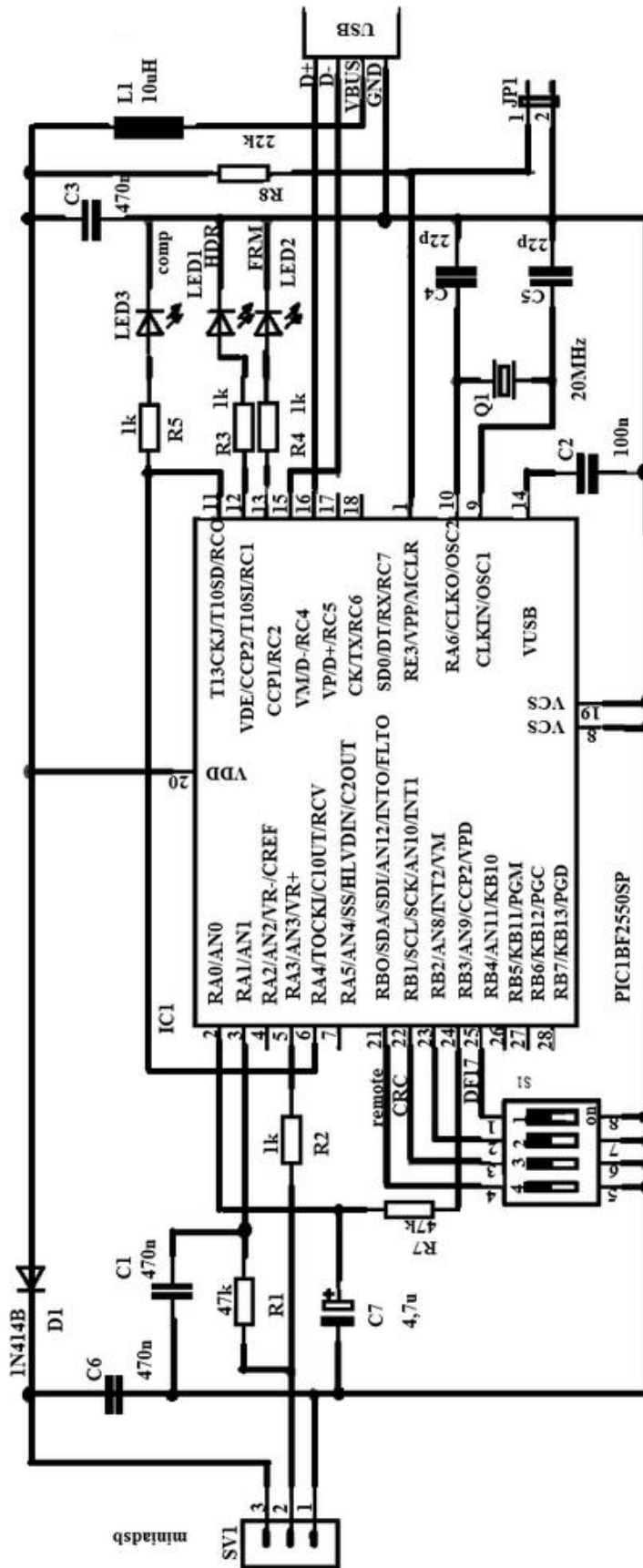


Рис. 4. Схема декодера adsb-PIC

Декодер призначений для використання з miniadsb-приймачем і програмним забезпеченням adsbScore або Planeplotter [7].

Програмне забезпечення adsbScore містить:

- контури континентів;
- список міст;
- список аеропортів;
- список повітряних суден з номерами ICAO;
- інформацію для визначення національної приналежності повітряних суден;
- інформацію про місце розташування і довжину злітно-посадкових смуг;
- інформацію про повітряні траси;
- інформацію про місце розташування і напрямки ILS систем;
- дані про розташування наземних радарів.

При запуску програмного забезпечення adsbScore відкривається вікно програми, перевіряються підкаталоги і завантажуються файли даних.

Вікно програми містить текстове поле для декодованих даних, таблицю для виявлених літаків, панель керування декодером та інформаційне поле (рис. 5).

Місцезнаходження літака, трек і додаткову інформацію показано на лівій стороні вікна.

Програмне забезпечення підраховує кількість ADS-B кадрів (пакетів даних) за 1 хв та відображає її в нижньому правому куті вікна програми.

Крім того, програмне забезпечення відображає середню кількість кадрів, отриманих з літака за 1 хв, перевіряє CRC-контрольну суму кожного кадру. Відсоток ушкоджених кадрів показано нижче частоти кадрів.

### Спостереження за повітряним рухом

Графічний дисплей відображає частину земної кулі, розміри і розташування якої можна змінювати від ділянки розміром 2 NM (морські милі) до відображення всієї земної кулі за допомогою миші. Зі збільшенням масштабу на дисплеї можуть відображатися назви аеропортів, системи ILS і радари.

Користувач може вибрати, яка інформація повинна відображатися і які кольори використовуються для різних видів об'єктів.

Дисплей оновлюється щонайменше раз за секунду (звичайно чотири рази за секунду).

Виявлений літак з його місцем розташування відображається на дисплеї.

Програмне забезпечення створює лінії (траєкторії польоту), починаючи від того місця, де літак був виявлений уперше.

Перше місце розташування літака зображується у вигляді маленького кола. Поруч вказується номер треку, ідентифікатор літака, висота польоту у футах (ешелон) і швидкість у вузлах. Якщо літак невідомий (не міститься в списку повітряних суден з номерами ICAO), то вказується тільки номер треку. Номер треку відповідає першому стовпчику таблиці на рис. 5.

Якщо в цей момент часу інформація про літак не надходить, то його місцезнаходження обчислюється на основі останнього відомого місця розташування, швидкості та напрямку руху.

Траєкторія польоту від останнього відомого місця розташування по передбачуваній траєкторії зображується пунктирною лінією.

Користувач може заборонити прогнозування позиції.

Програмне забезпечення вибирає для кожного повітряного судна випадковий колір.

Користувач може вибрати режим, в якому колір траєкторії польоту зображує висоту літака: 0 футів – червоним, 20 000 футів – зеленим, 40 000 футів – синім кольорами.

Наступні експерименти проводили з використанням створеної системи для прийому ADS-B сигналів:

- вели спостереження за повітряним рухом;
- результати спостереження (кількість літаків та інформація про них) порівнювали з даними на сайті Flightradar24 (рис. 6) [8];
- вивчали можливості системи з визначення максимальної відстані виявлення літаків.

З відстанями від антени системи до аеропорту Бориспіль 47 км, а до аеропорту Жуляни 23 км пов'язані особливості розподілу за відстанями та висотами літаків, що спостерігалися.

Літаки або заходили на посадку (відлітали), або на великій висоті прямували повз Київ.

Однак спромоглися спостерігати літаки на відстані 160 км та висотах до 12 000 м.

Виявилось, що система має невелику «сліпу воронку» і відслідковує літаки майже «над собою».

Як видно з рис. 7, 8, 9, 10, створена система для прийому ADS-B сигналів дозволила виявити літак та спостерігати за його рухом на значних відстанях від приймача (до 600 км). Зі швидкості літака впливає, що це є військовий винищувач з потужним відповідачем.

File view \_ctors \_load \_maps \_gning \_otner \_gostov/L

Decoder-Mode

- 0 - OFF
- 1 - reserved
- 2 - all received data
- 3 - only DF17
- 4 - only DF17 + CRC-ok

select COM-Port

Connect

```
*A0000A1BB2C800311C00000A5DD3;
time out of range, fixed
*8D02A201585315085449AB1BD53F;
time out of range, fixed
*02C60A318BFF0000000000000000;
adjust 0-time to 12:52:18.698
*A0000A35B2C800311C00000EA81C;
```

Nr.	AA	Regist.	Ident	Alt	Lat	Long	Speed	Head.	Climb	Type	Timeout
3	506C98	Slovenia									19
2	02A201	Tunisia		15525	50.38	30.67	365	285	1472		1
1	740525	Jordan									59
0	3c4d63	D-ACRC								CRJ9	56

```
02A201 All-call-reply Tunisia CA: I2-air
02A201 All-call-reply Tunisia CA: I2-air
02A201 Comb-alt-reply Tunisia AC: 15275ft MB: B2C800311C0000
02A201 Extended-squitt. Tunisia 15425ft * CA: I2-air
02A201 Short-air-sourv. Tunisia AC: 15425ft Vmax: 300..600kts
02A201 Comb-alt-reply Tunisia AC: 15525ft MB: B2C800311C0000
```

Framerate: 24 Frames/min (12)  
CRC-Errors: 0 %  
Time: 12:52:56

U-signal = 781mV  
U-ref = 806mV

Framerate: 24 Frames/min (12)  
Time: 12:52:56

Center: Lat=50.5569° Long=30.2996°

Range: 34 NM = 61 km

Koord:

ZOOM 405

E-W: 89 NM

Рис. 5. Головне вікно програми adbsScore

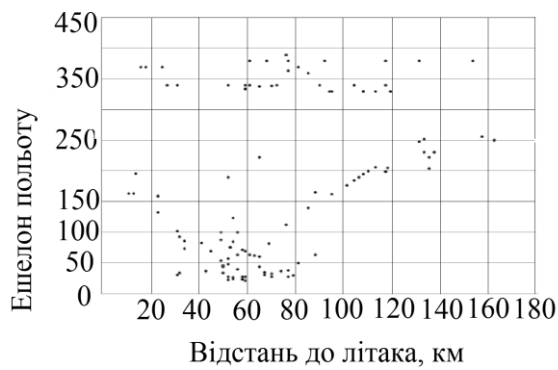


Рис. 6. Результати спостережень

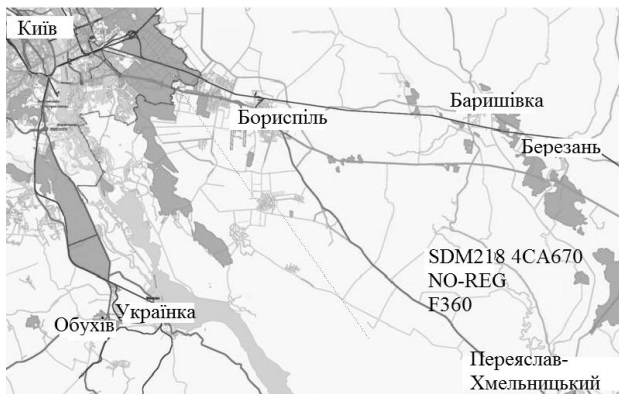


Рис. 7. Спостереження за літаком поблизу Києва



Рис. 8. Спостереження за літаком поблизу Кривого Рогу

Максимально можлива дальність виявлення літака обмежена кривизною земної поверхні та залежить від висоти літака. На дисплеї можуть відобразитися до восьми кілець, радіуси яких являють собою максимально можливу дальність виявлення повітряних суден на певних мінімальних абсолютних висотах. Ці висоти кратні 5000 футам.

За допомогою виготовленої на кафедрі аеронавігаційних систем антени системи для прийому ADS-B сигналів, яка встановлена на даху корпусу № 11 Національного авіаційного університету, вдається спостерігати за всіма літаками в зоні аеропорту Бориспіль, обладнаними відповідними трансиверами. Кількість літаків на дисплеї сайту Flightradar24 збігається з кількістю літаків, які «бачить» система.



Рис. 9. Спостереження за літаком поблизу Нікополя

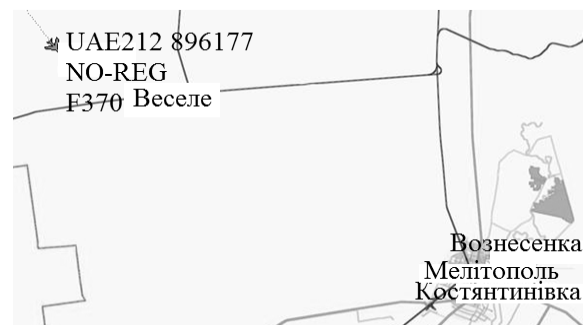


Рис. 10. Спостереження за літаком поблизу Мелітополя

### Висновки

1. Створено систему для прийому ADS-B сигналів.
2. Виготовлено антену, приймач ADS-B сигналів, декодер та встановлено програмне забезпечення для комп'ютера.
3. Систему розміщено на кафедрі аеронавігаційних систем Національного авіаційного університету.
4. Система використовується в навчальному процесі та для виконання студентських наукових досліджень.

### Література

1. EUROCONTROL. ADS-B Sites //www.eurocontrol.int/ads\_b\_sites/
2. The CASCADE Programme //www.eurocontrol.int/cascade/
3. Live Flight Tracker //www.flightradar24.com/
4. Mode S and ACAS Program //www.eurocontrol.int/msa/
5. Guidance for the Operational Introduction of SSR Mode //www.eurocontrol.int/eatm/gallery/content/public/library/ssr-mode-s-ops.pdf/
6. miniADSB – Tutorial //miniADSB.com/
7. ADS-B Decoder and Software with PIC18 F2550 //www.sprut.de/electronic/pic/projekte/adsb/
8. Flightradar24 //www.flightradar24.com//