

А. В. Федоров, Г. В. Худов, О. В. Сова

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОД ЮСТУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЧНОГО ЗАЛЕЖНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Предметом вивчення в статті є метод юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ. **Метою** є розробка методу юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ з використанням технології автоматичного залежного спостереження ADS-B. **Завдання:** аналіз відомих методів юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ, аналіз факторів, що впливають на точність визначення координат повітряних об'єктів, стислий аналіз можливостей технології ADS-B. Розробка методу юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ з використанням технології ADS-B. Використовуваними **методами** є: методи пасивної радіолокації, методи визначення координат повітряних об'єктів, методи математичного аналізу та диференційного числення, методи теорії ймовірності та математичної статистики. Отримані такі **результати**. Визначені основні недоліки відомих методів юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ. Визначено фактори, що впливають на точність визначення координат повітряних об'єктів. Встановлено можливість застосування технології автоматичного залежного спостереження для підвищення точності визначення координат повітряних об'єктів. Розроблено метод юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ з використанням технології ADS-B. Визначено основні переваги запропонованого методу юстування у порівнянні з існуючими. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Підвищення точності юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ досягнуто за рахунок використання технології ADS-B. Перевагами використання запропонованого методу юстування радіолокаційної станції радіотехнічних військ в порівнянні з існуючими є спрощення процесу юстування, визначення поправок без виведення радіолокаційної станції з режиму нормального функціонування, можливість використання в якості контрольних об'єктів випадкові повітряні об'єкти, що оснащені транспондерами ADS-B та знаходяться в зоні виявлення радіолокаційної станції радіотехнічних військ.

Ключові слова: радіолокаційна станція, ADS-B, юстування, транспондери, джерела інформації, повітряна обстановка, залежне спостереження, контроль повітряного простору, координати.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. З розвитком авіації та збільшенням вантажно-пасажирських перевезень виконання завдань з ведення радіолокаційного контролю (РЛК) повітряної обстановки в зоні огляду радіолокаційних станцій (РЛС) радіотехнічних військ (РТВ) дещо ускладнене. Це зумовлено знаходженням в повітрі одночасно великої кількості повітряних об'єктів (ПО).

При такому інтенсивному повітряному русі ускладняється повітряна обстановка та підвищуються вимоги до точності визначення координат ПО.

Можливості існуючих радіолокаційних засобів щодо здійснення радіолокаційного контролю та видачі радіолокаційної інформації (РЛІ) з підвищеними вимогами до точності визначення координат ПО дещо обмежені. Це зумовлено рядом причин: РЛС піддаються впливу вітрового навантаження, метеорологічних опадів, обмерзання, перепадів температур і вологості, відбувається механічний знос деталей антенно-поворотних пристроїв локаторів, що призводить до втрати точності вимірювання координат [1]. Відомо [2, 3], що на точність визначення координат ПО впливають декілька факторів: тактико-технічні характеристики РЛС (ширина діаграми спрямованості, відношення сигнал-шум та ін.); погодні умови; рельєф місцевості; інструментальні помилки РЛС (неточність орієнтування антени, помилками оператора при візуальному зніманні азимута цілей; якісне проведення регулярного і своєчасного юстування РЛС.

Для підвищення точності визначення координат ПО розглянемо метод юстування РЛС РТВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час відомо декілька методів проведення юстування РЛС [1, 4, 5].

По-перше, за допомогою використання відбитих сигналів від об'єктів, положення яких (координати) визначено точно.

По-друге, за допомогою використання місцевих предметів, положення яких визначено оптичними або геодезичними засобами. Однак при цьому потрібна наявність на місцевості окремо розташованих об'єктів, що відбивають зондуєчий сигнал або спеціально встановлених на вишках відбивачів або випромінювачів, що вимагає великих витрат.

По-третє, по радіовипромінюванню сонця або інших небесних тіл, що вимагає значного часу для її проведення та певних погодних умов.

По-четверте, можна використовувати повітряні об'єкти з точно вимірними координатами. Недоліком цього способу є неможливість правильної юстирування в випадках, коли координати РЛС, яка юстується, визначені з помилками.

В сучасних умовах ключову роль при здійсненні управління повітряним рухом відіграють технології, засновані на глобальних навігаційних супутникових системах і на новітніх системах електронного спостереження [6].

У теперішній час є можливість отримання координат за допомогою системи автоматичного залежного спостереження (ADS-B), за допомогою якої координати ПО визначаються транспондером ADS-B, ро-

зташованим на борту ПО, сигнал з координатами ПО випромінюється у простір та приймається відповідними приймачами даної системи. Точність визначення координат ПО за допомогою системи незалежного кооперативного спостереження (ADS-B) вище в 3-5 разів, ніж у класичних радіолокаторів [6]. Тому координати, що отримані від системи ADS-B можуть бути розглянуті як еталонні координати, за допомогою яких можна здійснювати юстування РЛС РТВ.

Метою статті є розробка методу юстування РЛС з використанням технології автоматичного залежного спостереження.

Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Автоматичне залежне спостереження – радіомовне (ADS-B) – це технологія коопераційного спостереження, в якій ПО визначає своє місцеположення через супутникову систему навігації та поширює його бортовим відповідачем [7]. Цю інформацію можуть отримувати як наземні станції підрозділів управління повітряним рухом (УПР), так і інші повітряні судна, що дає змогу екіпажам бути більш ситуаційно обізнаними. ADS-B – "автоматичне" – тому, що діє без втручання екіпажу. "Залежне" – тому, що залежить від даних навігаційних систем повітряного судна. Фактично ADS-B є елементом режиму «S» системи вторинної оглядової радіолокації для управління повітряним рухом RBS (Radar Beacon System) [8].

Технологія ADS-B, яка складається з двох різних сервісів, "ADS-B Out" та "ADS-B In", може використовуватися, як додаткове джерело спостереження за повітряним рухом [7]. "ADS-B Out" через бортовий передавач поширює інформацію про точне місцеположення, висоту та швидкість ПО, а також інші дані з бортових систем ПО. "ADS-B In" приймає інформацію з каналів FIS-B (польотно-інформаційного сервісу) та TIS-B (Інформацію про інший рух), а також інші данні ADS-B, такі як пряме спілкування з ПО, які перебувають поблизу.

В ADS-B передається великий обсяг даних. Це, зокрема, значення висоти ПО, швидкості та курсу, значення вертикальної швидкості, код режиму «A» системи RBS (так званий SQUAWK), адреса ICAO ПО (передається в кожному повідомленні), позивний (Callsign) ПО, але для вирішення завдання юстування РЛС представляють інтерес координати ПО в системі координат WGS-84 (передаються 2 рази за секунду).

Перелічені дані випромінюються з різною дискретністю від 0.5 секунди до 10 секунд [8, 9]. Параметри самогенерованого сигналу ADS-B [9]: стандартна довжина сигналу режиму S, який передається з метою виявлення, складає 56 біт; сигнал 1090 МГц ES включає в себе додатковий 56-бітний блок даних з інформацією ADS-B; довжина кожного повідомлення ES складає 120 мкс (8 мкс преамбули, 112 мкс даних); частота передачі сигналів 1090 МГц; швидкість передачі сигналів 1 Мбит/с; дані про місцезнаходження повітряного об'єкту передаються 2 рази в секунду, опознавальний індекс – кожні 5 секунд.

На рис. 1 показаний типовий приклад пакета Mode-S, що складається з двох окремих частин: преамбули, за якою слідує блок даних.

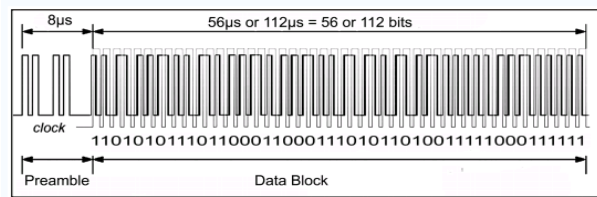


Рис. 1. Структура пакета сигналу ADS-B

Преамбула використовується для "пробудження" приймача запитів та декодера і складається з 4 імпульсів, кожен тривалістю 0,5 мкс. Блок даних складається з 56 або 112 біт загальної інформації 56 або 112 мкс.

Слід зазначити, що не всі, навіть сучасні ПО, обладнані транспондерами ADS-B. Більшість літаків, що виготовлені за радянських часів, не мають такого обладнання. Але зараз практично всі ПО мають спроможність роботи в режимі «S» системи вторинної локації RBS. В режимі вторинної локації РС відповідають на сигнали запитів трасових локаторів УПР. Відповідь здійснюється на тій же частоті, що і ADS-B, а саме 1090 МГц. Відповідно, приймач ADS-B здатен приймати і сигнали відповідей РС на запити трасових локаторів. А так як ПО практично завжди здійснюють політ в полі трасових локаторів, то практично завжди присутні сигнали відповідей [7]. Схема розміщення РЛС, що юстуються, та ПО, від якого надходить інформація представлена на рис. 2.

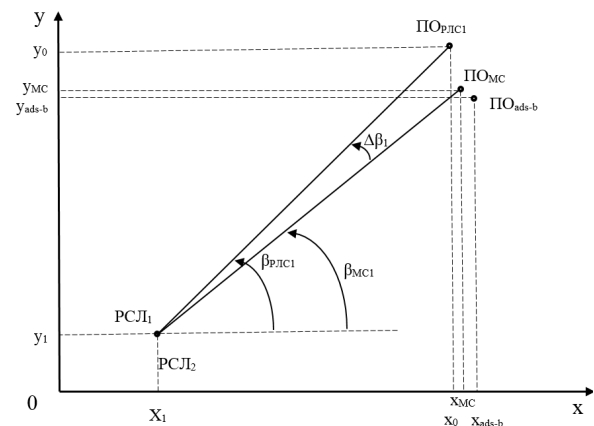


Рис. 2. Схема розміщення РЛС, що юстуються та ПО, від якого надходить інформація

Розглянемо сутність методу юстування РЛС з використанням технології автоматичного залежного спостереження.

На першому етапі здійснюється орієнтування на місцевості РЛС, що юстується, за допомогою артилерійської бусолі ПАБ-2М, яка входить до складу ЗІП РЛС. Методика проведення такого юстування відома та наведена в [10].

На другому етапі проводиться юстування РЛС одним з відомих методів.

Одним з найпоширеніших методів юстування РЛС РТВ є юстування за допомогою допоміжної РЛС [11]. Сутність методу в тому, що в процесі ю-

тування визначають розбіжності Δx , Δy між прямокутними координатами ПО, що вимірюються двома РЛС. Отримані величини розбіжностей використовують для визначення помилок юстування (поправка) РЛС, яка юстується. При юстування певної РЛС друга РЛС є допоміжною і повинна бути заздалегідь відюстована. Методи передбачають відсутність помилок допоміжної РЛС по азимуту і по дальності до ПО. Якщо юстування допоміжної РЛС містить похибки, то юстування РЛС, яка юстується, також буде містити додаткові помилки, що є істотним недоліком. За допомогою супутникових навігаторів визначають прямокутні координати точки стояння РЛС (x_n, y_n) .

На третьому етапі при веденні радіолокаційної розвідки (РЛР) та визначення координат ПО РЛС, яка юстується проводить вимірювання прямокутних координат повітряного об'єкта (x_0, y_0) . Ведення РЛР здійснюється, наприклад, шляхом кругового обертання антени та відомими методами виявлення та визначення координат, які закладені в алгоритм роботи конкретної РЛС.

На четвертому етапі за допомогою приймача ADS-B визначаються координати поточного місцезнаходження повітряного об'єкта (x_{ADS-B}, y_{ADS-B}) . Для прийому даних ADS-B від ПО на позиціях радіотехнічних підрозділів використовуються досить дешеві та малогабаритні радіоприймачі. Координати ПО в визначаються бортовими GPS навігаторами та випромінюються в простір. Наземні приймачі системи ADS-B приймають відповідні повідомлення на частоті 1090МГц, в яких міститься великий обсяг даних і, зокрема, інформація про поточні координати ПО, які в подальшому використовуються для юстування РЛС. Приклад такого повідомлення наведе в табл. 1.

Таблиця 1 – Дані, що входять до складу ADS-B повідомлення

Тип повідомлення	Сквіт тер	Інформація
ADS-B (56 bits)	DF4	інформація про висоту
	DF5	інформація про SQUAWK
	DF11	інформація про адресу ICAO
	DF20	інформація про позивний
ADS-B (112 bits)	DF17	координати ПО в системі координат WGS-84; значення вертикальної швидкості; тип ПО; швидкість ПО.

На п'ятому етапі прийняті прямокутні координати інтерполюють до єдиного моменту часу, математично усереднюють отримані прямокутні координати ПО за виразами:

$$x_{MC} = \frac{x_0 + x_{ADS-B}}{2}; \quad (1)$$

$$y_{MC} = \frac{y_0 + y_{ADS-B}}{2}, \quad (2)$$

далі обчислюють корегування для РЛС, що юстується:

$$\Delta\beta = \arctg \frac{y_0 - y_n}{x_0 - x_n} - \arctg \frac{y_{MC} - y_n}{x_{MC} - x_n} \quad (3)$$

$$\Delta D = \sqrt{(x_{MC} - x_n)^2 + (y_{MC} - y_n)^2} - \sqrt{(x_0 - x_n)^2 + (y_0 - y_n)^2}. \quad (4)$$

На сьомому етапі порівнюють обчислені коригування $\Delta\beta, \Delta D$ з роздільною здатністю (РЗ) РЛС, яка юстується, і якщо коригування $\Delta\beta, \Delta D$ виявляються більшими за РЗ РЛС, яка юстується - змінюють настройки даної РЛС. Вимірювання і розрахунки повторюють до тих пір, поки величина коригувань не буде менше РЗ РЛС, що юстується.

Висновки і напрямки подальших досліджень

Основними перевагами запропонованого методу юстування РЛС РТВ в порівнянні з існуючими є спрощення процесу юстування, визначення поправок без виведення РЛС з режиму нормального функціонування, можливість використання в якості контрольних об'єктів випадкові ПО, що пролітають в зоні виявлення РЛС та оснащені транспондерами ADS-B, в процесі їх роботи. Крім того, юстування може проводитися в автоматичному режимі, коректуючи помилки, що виникають від вітрових навантажень і температурних коливань. Використання даного методу значно може скоротити час на його проведення, що особливо актуально в ході ведення гібридних війн, в умовах обмежено часу, коли виникають випадки необхідності проведення юстування РЛС у складі мобільного радіотехнічного підрозділу, що має виконувати завдання на абсолютно новій території в залежності від бойової обстановки.

Актуальність застосування нових способів юстування РЛС висока в мирний час [6, 10]. Безпілотні літаки, дрони, сухопутні бойові машини без екіпажу, в найближчому майбутньому будуть базуватися на використанні супутникової навігації і будуть використовувати технологію ADS-B, або подібну такої.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сухов В.В. Новые методы юстировки радиолокационных станций с использованием современных технологий спутниковой навигации и автоматического зависящего наблюдения / В.В. Сухов, В.С. Савватеев // Успехи современной радиоэлектроники. – 2013. – №11. С. 29-33.
2. Вибір способу формування цифрового коду азимутального положення антени в оглядових РЛС "старого" парку / О.А. Малишев, М.Р. Арасланов, О.М. Піскун, Є.С. Чекіров // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 1(53). – С. 175-182.
3. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман. – М.: Сов.радио, 1970. – 560 с.

4. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В.Н. Тяпкин, А.Н. Фомин, Е.Н. Гарин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Тяпкина. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т. – 2011. – 536 с.
5. Сухов В.В., Савватеев В.С., Способ юстировки радиолокационных станций системы автоматического управления. Патент №2030759, Российская Федерация. 2012.148572/07, Заявл. 15.11.2012. Опубл. 10.09.14.
6. Внедрение технологии автоматического зависящего наблюдения в системы контроля воздушного пространства / В.В. Сухов. // Новые технологии. – 2012. – №1. – С. 67-70.
7. Лещенко С.П. Використання інформації ADS-B в інтересах підвищення якості ведення радіолокаційної розвідки повітряного простору // С.П. Лещенко, О.М. Колесник, С.А. Грицаєнко, С.І. Бурковський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХНУПС, 2017. – Вип. № 3(28). – С. 69–75.
8. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного опознавания. Справочник / А.С. Маляренко. – Харьков: ХУВС, 2007. – 78 с
9. Standards of USA (2009), "RTCA DO-260B. Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Inf. Services – Broadcast (TIS-B)", Washington. p. 185.
10. Перископическая артиллерийская буссоль ПАБ-2М. Техническое описание инструкция по эксплуатации. БЛ 1.500.009 ТО.
11. Абезгауз Я.И. Способ юстировки радиолокационных станций. Патент № 2094816. Российская Федерация. 95122102/09. Заявл. 27.12.95. Опубл. 27.10.97.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Васюта,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

Received (Надійшла) 04.02.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.03.2019

Метод юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск с использованием технологии автоматического зависящего наблюдения

А. В. Федоров, Г. В. Худов, О. В. Сова

Предметом изучения в статье является метод юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск. **Целью** является разработка метода юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск с использованием технологии автоматического зависящего наблюдения ADS-B. **Задачи:** анализ известных методов юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск, анализ факторов, влияющих на точность определения координат воздушных объектов, краткий анализ возможностей технологии ADS-B, Разработка метода юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск с использованием технологии ADS-B. Используемыми **методами** являются: методы пассивной радиолокации, методы определения координат воздушных объектов, методы математического анализа и дифференциального исчисления, методы теории вероятности и математической статистики. Получены следующие **результаты**. Определены основные недостатки известных методов юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск. Определены факторы, влияющие на точность определения координат воздушных объектов. Установлена возможность применения технологии автоматического зависящего наблюдения для повышения точности определения координат воздушных объектов. Разработан метод юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск с использованием технологии ADS-B. Определены основные преимущества предложенного метода юстировки по сравнению с существующими. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Повышение точности юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск достигнуто за счет использования технологии ADS-B. Преимуществами использования предложенного метода юстировки радиолокационной станции радиотехнических войск, по сравнению с существующими, является упрощение процесса юстировки, определения поправок без вывода радиолокационной станции из режима нормального функционирования, возможность использования в качестве контрольных объектов случайные воздушные объекты, оснащенные транспондерами ADS-B и находятся в зоне обнаружения радиолокационной станции радиотехнических войск.

Ключевые слова: радиолокационная станция, ADS-B, юстировки, транспондеры, источники информации, воздушная обстановка, зависящее наблюдение, контроль воздушного пространства, координаты.

Methods of adjustment of radar station radio technical troops with use technology of automatic dependent surveillance

A. Fedorov, H. Khudov, O. Sova

The **subject matter** of the article is method of adjusting the radar station of radar troops. The **goal** is to develop a method for adjusting the radar station of radar troops with automatic dependent surveillance technology ADS-B use. The **task** to analysis of known methods of adjusting radar station of radar troops, analysis of factors affecting the accuracy of airspace coordinates, analysis of ADS-B technology capabilities, development the method of adjusting the radar station of radar troops with ADS-B technology use. The **methods** used are: passive radar methods, methods for determining the coordinates of air objects, methods of mathematical analysis and differential calculus, methods of probability theory and mathematical statistics. The following **results** are obtained. The main disadvantages of known methods of adjusting radar station of radar troops are determined. The factors influencing accuracy of determination of coordinates of air objects are determined. The possibility of application of the automatic dependent observation technology for the increase the accuracy of determination coordinates of air objects is established. The method of adjusting the radar station of radar troops with ADS-B technology use is developed. The main advantages of the proposed adjustment method in comparison with the existing ones are determined. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows. Increasing the accuracy of adjusting the radar station of radar troops achieved through the use of ADS-B technology. The advantages of using the proposed method of adjusting the radar equipment of radar troops in comparison with the existing ones are simplification of the process of adjusting, the definition of corrections without the radar switching out of the normal operation, the possibility to use random air objects equipped ADS-B transponders while they are in range of the radar of radar troops.

Keywords: radar station, ADS-B, adjustment, receivers, sources of information, airspace, dependent observation, airspace control, coordinates.