

Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 629.78

DOI: 10.30748/nitps.2021.43.13

В.І. Васишлин, В.О. Лебедєв, О.В. Висоцький, В.П. Коцюба

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВТОРИННА РАДІОЛОКАЦІЯ ЯК ОСНОВА СУЧАСНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОВІТРЯНОЮ ОБСТАНОВКОЮ

У статті проводиться аналіз сучасних систем спостереження за польотами повітряних суден, що використовують відповідачі, які встановлені на літаку. Розглядаються системи залежного і незалежного спостереження, особливості побудови і використання вторинних оглядових радіолокаторів, дискретно-адресних систем вторинної радіолокації режиму S, систем спостереження з використанням більш тривалого самогенеруємого сигналу режиму S, систем автоматичного залежного спостереження, систем гібридного спостереження, мультилатераційних систем і системи посадки TLS. Визначаються переваги, недоліки і перспективи використання даних систем спостереження за повітряними суднами в сучасній системі спостереження за повітряною обстановкою.

Ключові слова: бортовий відповідач, самогенеруємий сигнал (сквіттер), автоматичне залежне спостереження, мультилатерація.

Вступ

Постановка проблеми. На даний час в системі спостереження за повітряною обстановкою спільне функціонування радіолокаційних систем (РЛС) виявлення повітряних об'єктів і РЛС з активною відповіддю (вторинних радіолокаторів та бортових відповідачів) є основою радіолокаційного виявлення та впізнання повітряних суден (ПвС) і забезпечення управління повітряним рухом. В результаті спільного функціонування даних систем здійснюється виявлення повітряних об'єктів, вимірювання їх просторових координат і інформаційне забарвлення міток ПвС на індикаторах відображення інформації у вигляді ознаки об'єкта. Ознака об'єкта може характеризувати його державну приналежність, номер борту (рейсу) або іншу польотну інформацію, необхідну для забезпечення контролю повітряного простору та безпеки повітряного руху. Однак, існуюча система спостереження за повітряним простором характеризується наявністю розривів єдиного радіолокаційного поля. Для вирішення даної проблеми в умовах низької, середньої та високої щільності повітряного руху доцільно розглянути можливості використання інших систем спостереження в якості засобів заміщення вторинних радіолокаторів або альтернативних джерел інформації за умови їх сумісного використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні системи управління повітряним рухом (організації повітряного руху) є складовою частиною перс-

пективної системи CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance) – зв'язок, навігація та спостереження)/(air traffic management – організації повітряного руху) [1–5].

Автоматичне залежне спостереження (АЗС) та мультилатераційні системи є складовими концепції ICAO з розвитку системи організації повітряного руху CNS/ATM [1].

Бортовий (літаковий радіолокаційний) відповідач повітряного судна (ПвС) є невід'ємною частиною систем вторинної оглядової радіолокації, АЗС і мультилатераційних систем, які забезпечують літальні апарати, що здійснюють політ, та наземні диспетчерські служби інформацією, яка необхідна для організації повітряного руху (ОПР). До недавнього часу замість терміну ОПР частіше використовувався термін управління повітряним рухом (УПР).

Незважаючи на досить велику увагу в технічній літературі щодо питань ОПР, питання автоматичного залежного спостереження та мультилатераційних систем ще не достатньо висвітлені й опрацьовані.

Мета статті – аналіз сучасних систем спостереження за повітряними суднами, які використовують літакові відповідачі.

Виклад основного матеріалу

1. Класифікація систем спостереження за повітряною обстановкою

Всі системи спостереження за повітряною обстановкою, що використовуються в даний час, а та-

кож перспективні, поділяють на системи залежного і незалежного спостереження [1].

У системах залежного спостереження місцеположення ПвС в просторі визначається на борту і отримані дані передаються відповідному органу УПР. До таких систем відносяться обладнання передачі голосових повідомлень екіпажів про місцеположення ПвС VPR (Voice Position Reports), а також бортове і наземне обладнання АЗС.

Незалежні системи спостереження припускають використання наземного обладнання, яке визначає місцеположення ПвС. В цьому випадку бортове обладнання участі у визначенні місцеположення ПвС не приймає. Незалежне спостереження здійснюється первинними оглядовими радіолокаторами (ОРЛ) – PSR (Primary Surveillance Radar). З деякими застереженнями до категорії незалежного спостереження можуть бути віднесені вторинні ОРЛ (ВОРЛ) – SSR (Secondary Surveillance Radar) [2]. До ВОРЛ відносяться традиційні ВОРЛ, які засновані на обробці пакету сигналів, що надійшли у відповідь, моноімпульсні ВОРЛ – MSSR (Monopulse Secondary Surveillance Radar), а також моноімпульсні ВОРЛ, що працюють в режимі S.

До незалежних систем спостереження з застереженнями також можуть бути віднесені пасивні оглядові системи, принцип дії яких заснований на диференціальній оцінці часу запізнювання надходження сигналів на декілька рознесених в просторі приймачів. Перші системи такого типу, які використовуються для отримання інформації про стан ПвС в аеропорту, називалися маяковими системами з оцінкою різниці запізнення сигналів – TDOA BML (Time Difference of Arrival Beacon Multilateration). Збільшення числа застосувань таких систем (спостереження за ПвС у зоні аеродрому, посадка на паралельні злітно-посадкові смуги та ін.) зумовило використання більш загальної назви – мультилатераційні системи [2–5].

2. Спостереження з використанням ВОРЛ

Вторинні оглядові радіолокатори відносяться до засобів незалежного спостереження умовно, оскільки в них тільки координатна інформація визначається незалежно від бортових навігаційних систем.

Додаткова польотна інформація (індивідуальний номер ПвС, барометрична висота, і в деяких режимах залишок палива, вектор шляхової швидкості) виробляється (надається) бортовим обладнанням. Для передачі координатного коду (спрощений варіант відповіді) і додаткової інформації використовується відповідач, який розташований на борту літака. ВОРЛ класифікуються за принципом отримання координатної інформації (моноімпульсні або традиційні), за режимами запиту (RBS, УПР, УПР-

М, S), за призначенням (трасові, аеродромні, посадкові тощо) [1–6].

Загальними перевагами вторинних ОРЛ в порівнянні з первинними ОРЛ є:

- підвищена інформаційна здатність, що дозволяє автоматично ідентифікувати об'єкти спостереження і здійснювати УПР за похилою дальністю, азимут, висотою та часом;

- більша дальність дії при малому рівні потужності сигналу, що випромінюється.

Більш високу точність визначення азимуту в порівнянні з традиційними ВОРЛ можна отримати за рахунок використання моноімпульсного методу прийому і обробки повідомлень, які прийшли у відповідь на запит ВОРЛ [2]. Також досягається зменшення рівня внутрішньосистемних завад за рахунок зниження частоти запитів. Збільшення інформаційної здатності ВОРЛ можливо при переході до моноімпульсних дискретно-адресних ВОРЛ – тобто до використання режиму S.

3. Спостереження на основі ВОРЛ режиму S

Основними особливостями дискретно-адресних систем вторинної радіолокації є індивідуальна адресація запитів і можливість використання для отримання інформації лише однієї відповіді на індивідуальний запит. Індивідуальна адресація запитів в режимі S забезпечується наявністю у кожного ПвС особистої адреси. В якості адреси режиму S використовується індивідуальна кодова комбінація, що складається з 24 бітів (всього 16 777 214 адрес).

Обмін інформацією на лініях зв'язку “земля – борт” (“вгору”) та “борт – земля” (“вниз”) здійснюється стандартними SLM (standard length message) або збільшеними (подовженими) ELM (extended length message) повідомленнями. Кількість біт у запиті (відповіді) в загальному випадку дорівнює 112. З цих 112 біт безпосередньо повідомлення міститься в так званому полі повідомлення, яке займає в SLM 56 біт і в ELM 80 біт. Дані передаються у вигляді сегментів (рівних 56 біт в SLM і 80 біт в ELM). Стандартні (подовжені) повідомлення на лініях зв'язку “вгору” та “вниз” можуть передаватися шляхом використання відповідних форматів Comm-A і Comm-B (Comm-C і Comm-D). Протокол передачі ELM по лінії зв'язку “вгору” дозволяє здійснювати групування до 16 сегментів 80-бітових повідомлень в єдине повідомлення.

Відповідачі, що працюють в режимі S, відповідають одному з 5 рівнів. Для виконання міжнародних польотів рівень відповідача повинен бути не нижче рівня 2 [1–3].

Висока точність визначення азимуту цілі при низькій частоті запитів і відповідей ВОРЛ у режимі S забезпечується застосуванням моноімпульсного методу прийому сигналів відповіді.

4. Спостереження з використанням більш тривалого самогенеруемого сигналу режиму S

Бортовий відповідач (в англомовній технічній літературі використовується термін прийомовідповідач (transponder)), що працює в режимі S, в псевдовипадкові моменти часу з інтервалом близько однієї хвилини випромінює свій індивідуальний адрес режиму S у складі 56 бітового повідомлення.

Такий самогенеруемый сигнал вважають коротким і в літературі також називають коротким “сквітером” (squitter). Він використовується бортовою системою попередження зіткнень ACAS (Airborne Collision Avoidance System) для виявлення повітряних суден з прийомовідповідачами, що працюють в режимі S. Бортова система попередження зіткнень (БСПЗ) веде прослуховування самогенеруемых сигналів і виділяє 24-бітову адресу ПвС, що міститься в них.

Довжина більш тривалішого самогенеруемого сигналу (extended squitter (ES)) режиму S – 112 біт (рис. 1).

Він випромінюється для забезпечення спостереження за місцеположенням ПвС за допомогою передачі радіомовної інформації. ES може передаватися бортовим відповідачем, що працює в режимі S, і пристроями, що не є прийомовідповідачами – NT (non transponder) для передачі ES (ES/NT). Останні дозволяють забезпечити впровадження обладнання передачі ES в авіації загального призначення і на наземних засобах при більш низькій її вартості, ніж при використанні бортових прийомовідповідачів, що працюють в режимі S.

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|----------------------------|----|----------------------------|----|-------------------------|-----|
| 1 | 5 | 6 | 8 | 9 | 32 | 33 | 88 | 89 | 112 |
| Поле управління (8 біт) | | | | Адрес в режимі S (24 біта) | | Повідомлення ADS (24 біта) | | Поле парності (24 біта) | |

Рис. 1. Формат ES
Джерело: розроблено авторами.

Перші п'ять біт займає поле формату лінії зв'язку “вниз” DF (downlink format). Для прийомовідповідачів ES, що працюють в режимі передачі S, DF = 17 (DF = 10010). Для ES, переданого ES/NT, DF = 8. При використанні ES військовими ПвС DF = 19 (але в цьому випадку біти 9-112 на поля не поділяються).

Повідомлення ADS розміром 56 біт, що входить до складу ES, передається двічі за секунду (через 0,5 с) в режимі всеспрямованої передачі споживачам, що знаходяться в повітрі або на землі.

Більш тривалі самогенеруючі сигнали використовують для цілей спостереження “повітря – земля” (на маршруті і в зоні аеродрому), точного контролю за обстановкою на злітно-посадковій смузі PRM

(precise runway monitoring), спостереження за обстановкою на землі (або злітно-посадковій смузі (ЗПС)) і на аеродромних руліжних доріжках), спостереження “повітря – повітря” (гібридного спостереження за допомогою БСПЗ і відображення інформації про повітряний рух в кабіні літака CDTI (cockpit display of traffic information) [2–5].

5. Автоматичне залежне спостереження

У разі застосування АЗС місцеположення ПвС визначається безпосередньо на борту ПвС [1–3]. Потім інформація про координати, параметри руху і найближчі наміри (наступний пункт маршруту та висоту, яка попередньо задається) передається наземним органам УПР. Ця інформація також може прийматися і ПвС, що знаходяться в районі даного ПвС.

Для роботи системи АЗС на борту ПвС необхідно мати приймач супутникової радіонавігаційної системи (СРНС) або інерційну навігаційну систему, а також систему зв'язку “борт – земля”.

В даний час основними є два види систем АЗС:

– “контрактне” або “адресне” АЗС, що позначається як ADS-A (ADS – Addressable), ADS-C (ADS – Contract) або просто ADS;

– “радіомовне” АЗС, що позначається як ADS-B (ADS – Broadcast).

ADS-B представляє собою удосконалене АЗС, яке передбачає періодичну радіомовну передачу даних про місцеположення ПвС та іншу інформацію про політ, яка є в наявності на борту. Інформація про ідентифікаційний номер ПвС та його місцеположення може бути використана БСПЗ і наземними службами управління повітряним рухом.

Для передачі повідомлень в різних системах ADS-B можуть бути використані відповідачі, що розташовані на літаку та працюють в режимі S, ES/NT (частота 1 090 МГц), ультракороткохвильові (УКХ) лінії цифрового зв'язку VDL VHF (Data Line) в режимі 4, що використовують протокол з поділом у часі, який самоорганізується, і приймачі універсального доступу UAT (Universal Access Transceiver). Для VDL радіочастоти вибираються в смузі частот 117,975–137 МГц. UAT – широкосмугова система, яка використовує канал з шириною смуги частот 1 МГц в L діапазоні (960–1 215 МГц). У США використовується частота 978 МГц. В Європі ця частота належить діапазону частот, який виділено для навігаційних систем TACAN/DME (960–1 215 МГц).

Прийом сигналів ADS-B називають ADS-B-in, а передачу сигналів ADS-B з борту повітряного судна – ADS-B-out. Часто під ADS-B-in та ADS-B-out розуміють складові елементи бортового обладнання АЗС, що відповідають за передачу і прийом сигналів ADS-B. Крім прийому сигналів ADS-B-in передбачає відображення отриманої інформації на будь-якому індикаторі (наприклад, CDTI або системи БСПЗ).

Під час перехідного періоду, поки не усі ПвС будуть обладнані бортовим обладнанням ADS-B (ADS-B-out), дані про місцезположення ПвС (отримані, наприклад, первинним ОРЛ або ВОРЛ) будуть передаватися на борт ПвС радіомовною службою інформації про повітряний рух TIS-B (traffic information service-broadcast). Метеоінформація, повідомлення для пілотів (NOTAM) на борт, буде передаватися радіомовною службою інформації про політ FIS-B (flight information service-broadcast).

Інформація TIS-B дозволить після її випромінювання в складі сквіттерів зробити ПвС, необладнане ADS-B-out, “видимим” для інших ПвС, обладнаних ADS-B, які знаходяться поблизу від даного ПвС.

Функціонування ADS-B має на увазі створення мережі наземних приймачів, які будуть приймати розширений сквіттер літакового відповідача, а TIS-B і FIS-B вимагають використання ще й відповідної кількості передавачів. Приклад застосування систем АЗС наведено на рис. 2.

За сигналами СРНС в результаті виконання навігаційних розрахунків широта і довгота ПвС передаються в складі розширеного повідомлення (ES). Наземні станції (НС) по аналогії з ОРЛ можуть класифікуватися як трасові (маршрутні) і аеродромні. Прикладами НС є НС ADS-B “Пульсар-Н” і НС ADS-B Ліанозовського електромеханічного заводу.

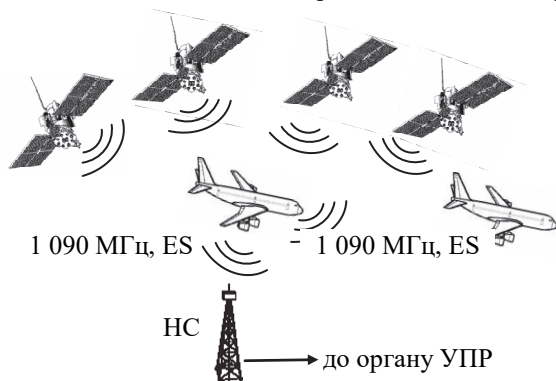


Рис. 2. Система АЗС

Джерело: розроблено авторами.

Для цілей АЗС можуть використовуватися літакові радіолокаційні відповідачі типу СО-96 і СО-96-АЗС. На рис. 3 представлений СО-96-АЗС у складі бортового обладнання системи АЗС виробництва науково-дослідного інституту радіоапаратури (Росі).



Рис. 3. Бортове обладнання системи АЗС

Джерело: [2].

Для точного контролю за обстановкою на ЗПС та руліжних доріжках необхідні диференціальні поправки для сигналів СРНС. Вони визначаються на землі і потім передаються на борт ПвС. ПвС передає розширений самогенеруємий сигнал, що містить дані про місцезположення ПвС з необхідними диференціальними поправками. Кількість наземних станцій в цьому випадку дорівнює 4 і більше.

Аеродромна НС має зазвичай одну ненаправлену антену, що приймає розширений сквіттер від ПвС, які перебувають на відстані 90–180 км. Трасові (маршрутні) станції використовують шестисекторні (шестипроменеві) антени (рис. 4).

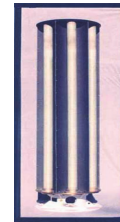


Рис. 4. Шестисекторна антена фірми dB Systems

Джерело: [2].

Спостереження при цьому забезпечується в межах 370 км. Використання багатопробієвих антен дозволяє забезпечити більш високу частоту передачі даних, оскільки кожен запит приймається тільки тим ПвС, який потрапив в промінь діаграми спрямованості антени, по якому був переданий запит.

Таким чином, перевагами системи АЗС є [1–3; 13]:

- високий темп оновлення інформації (2 рази в секунду), відсутність необхідності в запиті ПвС;
- незалежність точності визначення місцезположення ПвС від відстані між датчиком (сенсором) і ПвС, як це має місце в первинних ОРЛ та ВОРЛ. Це обумовлено тим, що положення ПвС визначається на його борту та в цифровому вигляді передається на землю та сусіднім ПвС;

– наземний датчик (приймач) може мати просту неспрямовану антену з розмірами, які є істотно меншими за розміри антени ВОРЛ;

– більш повне використання ширини смуги частот сигналу відповіді (1 090 МГц) ніж у звичайних ВОРЛ внаслідок випадковості випромінювання повідомлень та незалежності числа повідомлень від числа приймачів.

Недоліками систем АЗС є:

– залежність від бортового навігаційного обладнання (наприклад, СРНС);

– необхідність розвитку відповідної наземної інфраструктури;

– ускладнення операцій УПР в тих районах, де обслуговуються ПвС, які оснащені та неоснащені обладнанням ADS;

– необхідність введення нових процедур з ОПР.

6. Гібридне спостереження

Метод гібридного спостереження заснований на використанні пасивного спостереження за допомогою ADS-B [8–9] та активного спостереження за допомогою ВОРЛ. Також можливе спільне застосування ADS-B і БСПЗ. Активне спостереження використовується для підтвердження (перевірки) даних про місцезнаходження ПвС, отриманих від системи ADS-B, і для дублювання ADS-B в разі відмови.

На рис. 5 наведена блок-схема модифікації ВОРЛ “МВРЛ-СВК” (“Аврора”) виробництва ВНИИРА (Росія), яка використовує дані ADS-B, які передаються в розширених сквіттерах або по каналах VDL режиму 4.

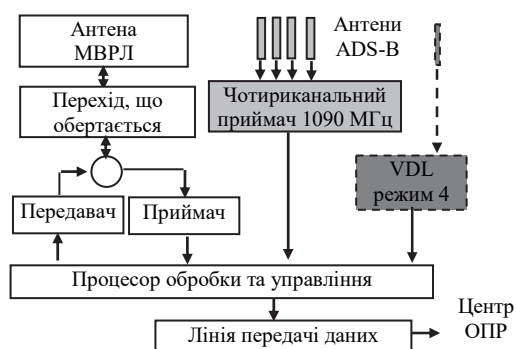


Рис. 5. Блок-схема МВРЛ “Аврора”
Джерело: розроблено авторами за даними [9].

Для прийому розширених сквіттерів використовуються чотири нерухомі антени з шириною променю 90 градусів, які розташовані на майданчику антенного модуля. Приклад розміщення антен МВРЛ і ADS-B для МВРЛ “Аврора” наведений на рис. 6 (видно дві з 4-х антен ADS-B).

Додаткове обладнання на рис. 5 представлено сірим кольором. У вигляді кола показаний антенний перемикач, виконаний на Y-циркуляторі. Чотириканальний приймач забезпечує роздільний прийом і декодування сквіттерів, що надходять в кожний з чотирьох азимутальних секторів.

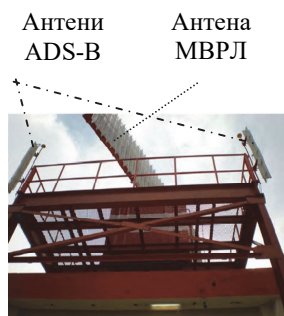


Рис. 6. Розміщення ADS-B антен сумісно з антеною вторинного радіолокатора
Джерело: [9].

Дані від різних джерел по одній і тій же цілі об’єднуються на основі аналізу ідентичності відповідних просторових траєкторій (треків) ПвС.

При об’єднанні інформації слід враховувати, що ВОРЛ визначає азимут і дальність до цілі, а в повідомленні АЗС передається інформація про широту та довготу ПвС.

7. АЗС з високою цілісністю (high-integrity ADS-B)

З огляду на залежність АЗС від бортового навігаційного обладнання (координати ПвС визначаються на борту) при використанні стандартного АЗС перевірка інформації про місцезнаходження ПвС є не можливою. Однак, сучасні приймальні системи АЗС включають високостабільні годинники з можливістю синхронізації шкали часу за сигналами СРНС. Кілька рознесених в просторі НС АЗС (принаймні двох) будуть приймати самогенеруємі сквіттери від ПвС, здійснювати їх прив’язку до точних міток часу, і передавати їх на контролер АЗС. Контролер вимірює різницю часу приходу TDOA (time difference of arrival) сигналу бортового відповідача на рознесені НС. На підставі даних про місцезнаходження ПвС, зазначених в сквіттері, контролер визначає відстані від заявленого в сквіттері положення ПвС до обох НС. Так як швидкість поширення сквіттера постійна, то різниця в відстані між ПвС і двома НС обумовлює відповідну різницю в часі приходу сигналу на НС. Обчислена таким чином різниця часу приходу сигналів на НС порівнюється з вимірною спочатку різницею часу приходу.

На підставі такого порівняння можливо перевіряти дані про місцезнаходження ПвС, що передаються в повідомленні АЗС (сквіттері), а також виділяти сквіттери, що імітують наявність неіснуючих ПвС.

У разі виходу з ладу однієї з двох НС отримаємо вихідну систему АЗС.

8. Спостереження на основі мультилатераційних систем

Супутникові радіонавігаційні системи служать основним джерелом інформації про стан ПвС для навігації і спостереження, заснованого на ADS-B. З іншого боку, їх вихід з ладу, або недостатнє число супутників для проведення навігаційних вимірювань призведе до неточності визначення місцезнаходження ПвС та передачі цього значення за допомогою ADS-B в центр ОПР.

Забезпечити резервування системи ADS-B в таких випадках може мультилатераційна система (multilateration system). Вона дозволяє здійснити менш затратний перехід до повномасштабної ADS-B [7; 10–12].

Не дивлячись на відсутність однозначного перекладу слова multilateration, його визначення можна дати на підставі [6] та іншої літератури [7; 10; 12].

Мультилатераційна система використовує далекомірні або різницево-daleкомірні вимірювання з двох або більше наземних станцій для визначення положення ПвС [7–12]. У літературі слово мультилатерація часто замінюють словосполученням гіперболічне позиціонування. У ході визначення положення ПвС наземними станціями визначається по TDOA сигналу бортового відповідача. Не слід плутати термін мультилатерація з триангуляцією.

Мультилатераційні системи можна класифікувати за наступними показниками:

а) за зоною дії (для зони аеродрому, підходу і більших зон покриття (наприклад, покривають весь повітряний простір країни), широкозонні системи мультилатерації WAM (Wide Area MLAT), які забезпечують спостереження на дальності до 150 км від центру управління повітряним рухом;

б) наявністю запитувачів серед наземних станцій (активні і пасивні).

У ролі запитувача в активній системі мультилатерації виступає одна з наземних станцій, яка є значно простішою ніж ВОРЛ. Вона формує сигнал запиту за аналогією з обладнанням БСПЗ TCAS.

Крім вирішення завдання спостереження за ПвС у повітрі мультилатераційні системи дозволяють здійснювати контроль і управління рухом ПвС по ЗПС та аеродромних руліжних доріжках. Також вони можуть застосовуватися і для управління рухом автомобільного транспорту по льотному полю.

Принцип дії системи полягає в диференціальній оцінці часу запізнення приходу сигналів, що генеруються відповідачами, які розташовані на ПвС, або відповідачами, встановленими на наземних транспортних засобах – ES/NT, на приймальних пристроях, розташованих в певних заздалегідь відомих точках контрольованої зони (рис. 7).

В якості корисного сигналу можуть використовуватися сигнали бортових відповідачів режимів A/C, S, сигнали системи “свій-чужий” (IFF), сквіттери для БСПЗ, сигнали ADS-B. При цьому інформація, що міститься в сигналах, які передаються з ПвС, не використовується. Кількість наземних приймачів має бути не менше 4.

Відповіді режимів A, C,
S, сквіттери, ADS-B

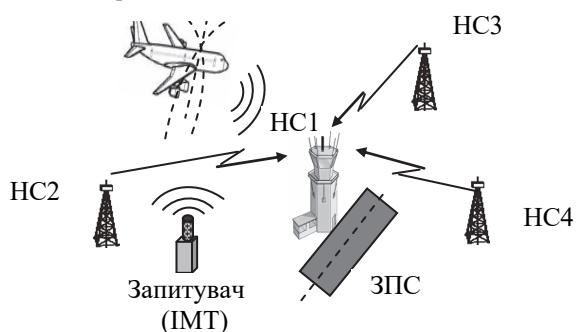


Рис. 7. Мультилатераційна система
Джерело: розроблено авторами за даними [7–12].

Для проведення вимірювань НС повинні синхронізуватися сигналами опорного передавача або мати приймач GPS і виконувати синхронізацію за допомогою сигналів СРНС. У ролі опорного передавача може виступати IMT (interrogator and monitoring transponder) – комбінований запитувач і контрольний відповідач.

На кожній НС сигнал переводиться в цифрову форму. Надходження сигналу чітко фіксується, вимірюється TDOA і дані по лінії зв'язку передаються на центральну станцію (НС1 на рис. 7).

На підставі отриманої інформації визначення положення ПвС (відповідача) в тривимірному просторі виконується центральним комп'ютером на НС1. Приклад бічної НС фірми ERA (Чехія) наведено на рис. 8, на лівій частині якого показані антена й приймач, обладнання лінії зв'язку діапазону надвисоких частот а праворуч антена і приймач наведені у збільшеному вигляді.

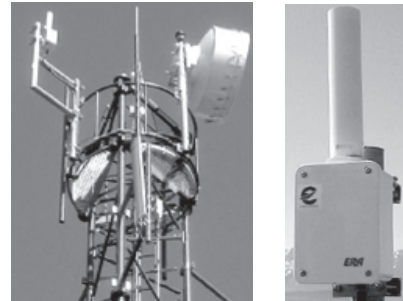


Рис. 8. Варіант побудови наземної станції
фірми ERA
Джерело: [11].

На підставі опрацьованих даних, зібраних в режимі реального часу з різних ПвС (MLAT messages) складається зображення, яке відображає фактичну повітряну обстановку.

Через обертання антени РЛС позначка на екрані диспетчера “стрибає”, тобто положення ПвС в проміжок часу між двома обертами антени не відслідковується. Дані від НС мультилатераційної системи надходять безперервним потоком, швидко опрацьовуються, а диспетчер бачить позначку ПвС, яка повільно переміщується. Іншою перевагою технології мультилатерації є незалежність її функціонування від рельєфу місцевості або наявності перешкод для огляду об'єктів природного або штучного походження. Необхідно лише розташувати наземні приймальні станції так, щоб не було “мертвих зон”.

Досвід впровадження мультилатераційних технологій показує, що широкозонна система мультилатерації в порівнянні з традиційним ВОРЛ забезпечує кращу точність та швидкість оновлення радіолокаційної інформації за меншої вартості, при цьому значно зменшуються витрати на технічне обслуговування обладнання.

Для однозначного визначення положення об'єкту спостереження необхідно мати, як мінімум,

три приймача. Загальна кількість приймачів, що використовуються в системі, залежить від розмірів та конфігурації контрольованої зони.

Здатність мультилатераційних систем забезпечувати рівномірне відображення руху (без стрибків) позначки ПвС при заході його на посадку та безперервне відображення його реального місцеположення є дуже корисною для диспетчера, особливо за наявності в аеропорту паралельних ЗПС.

Мультилатераційні системи здатні також точно вимірювати висоту польоту ПвС. Ця їх особливість використовується на ПвС з впровадженням технології RVSM, при цьому потрібно мати незалежний контроль дотримання вертикального ешелонування.

9. Точнісні характеристики вимірювань сучасних систем спостереження за повітряною обстановкою

Питанням аналізу характеристик точності вимірювань сучасних систем спостереження за повітряною обстановкою присвячені роботи [10–11].

10. Система посадки TLS

Систему посадки TLS (transponder landing system) можна розглядати як альтернативну систему розглянутим вище системам спостереження за повітряною обстановкою, яка дозволяє забезпечити необхідні параметри точності приземлення ПвС в складних умовах рельєфу місцевості в районі аеродрому. При цьому система TLS також використовує стандартне бортове обладнання ПвС (бортовий відповідач і бортове обладнання ILS) [15].

Система посадки TLS це, по суті, високоточна вторинна система спостереження, яка відслідковує точне місцеположення всіх ПвС в межах понад 200 км від аеродрому з безпрецедентною частотою оновлення 22 Гц [15]. Склад обладнання TLS та варіант його розміщення наведені на рис. 9 та 10 відповідно.

В даний час системи посадки TLS активно впроваджуються в цивільній і військовій авіації США. Крім цього, в різних країнах світу на аеродромах зі складним рельєфом місцевості вже кілька років експлуатуються системи TLS виробництва корпорації ANPC (Advanced Navigation and Positioning Corporation) [14].

Робота системи TLS заснована на використанні апаратури вторинної радіолокації. При цьому в районі ЗПС встановлюють малопотужний запитувач (приймач-передавач) системи вторинної радіолокації, який запитує ПвС, що знаходяться в зоні посадки. За затримкою приходу сигналу відповіді визначають дальність, а для визначення кута місця і азимута застосовується апаратура, яка використовує фазовий метод вимірювання кутів.

Для ідентифікації ПвС, що заходять на посадку, диспетчер вводить в TLS бортовий номер ПвС.

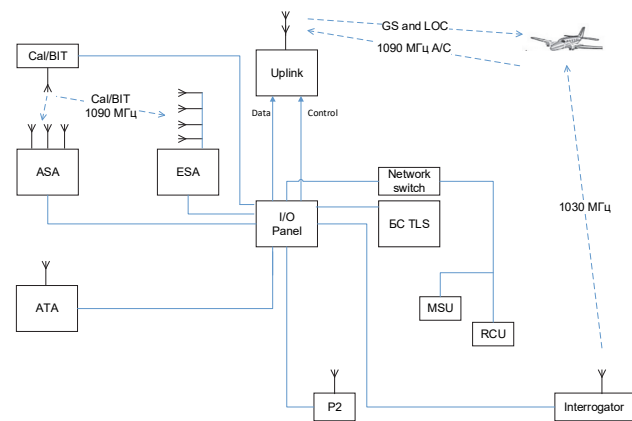


Рис. 9. Склад обладнання TLS:

базова станція (БС) TLS; ASA (Azimuth Sensor Array) – обладнання та антени (ОА) матриці датчиків азимута; ESA (Elevation Sensor Array) – ОА матриці датчиків висоти; ATA (Alternate Time of Arrival) – ОА альтернативного часу прибуття; Cal/BIT (Calibration/Built-in-Test) – ОА калібратора/вбудованого тесту; interrogator – ОА запитувача; P2 – ОА імпульсу придушення запитувача; GS and LOC (Glide Slope and Localiser) – курсоглісадна антена; RCU (Remote Control Unit) – блок дистанційного керування; MIU (Maintenance Interface Unit) – блок інтерфейсного обслуговування Interface Unit)

Джерело: розроблено авторами за даними [16, С. 2–3].

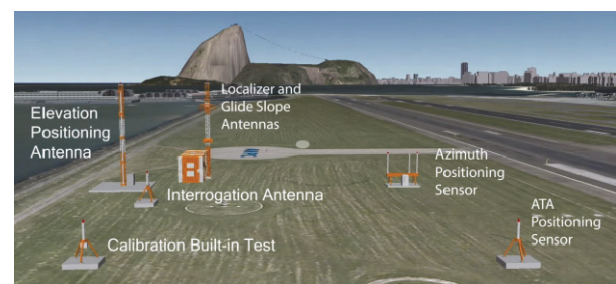


Рис. 10. Варіант розміщення обладнання TLS

Джерело: [16, С. 2-3].

Для забезпечення необхідної точності визначення координат місцеположення ПвС реалізується складна обробка інформації з використанням нелінійної фільтрації. За координатами ПвС розраховують його відхилення від розрахункової глісади. Розраховані відхилення ПвС від глісади передаються на борт по лінії передачі сигналів управління в форматі сигналів системи посадки ILS, які приймаються бортовими приймачами курсу й глісади системи ILS і далі передаються в систему автоматичного управління ПвС або виводяться на індикацію для пілота ПвС. Таким чином, система TLS забезпечує посадку ПвС, використовуючи при цьому стандартне бортове обладнання.

Перевагами системи посадки TLS є [19]:

– можливість застосування на аеродромах зі складним (обмеженим) рельєфом місцевості;

- здатність отримувати навігаційну інформацію від ПвС в режимі RBS і MkXA;
- виведення інформації та контроль за траєкторією посадки ПвС на моніторі курсу/глісади;
- можливість забезпечення посадки ПвС за різними кутами глісади (від 2 до 10 градусів) по лінійній і нелінійній траєкторіях посадки;
- мобільність в порівнянні з ILS;
- забезпечення посадки ПвС за I категорією мінімуму.

Серед недоліків системи посадки TLS слід відзначити такі:

- залежність функціонування наземного обладнання від працездатності відповідача RBS (в разі його відсутності на борту ПвС або його несправності TLS не працює);
- випромінювання відповідача RBS при роботі системи посадки TLS призводить до збільшення ймовірності виявлення ПвС засобами електронної підтримки радіоелектронної боротьби;
- система посадки TLS потребує використання спеціальних таблиць посадки і додаткового узгодження з наземним обладнанням перед застосуванням;
- фазометричний спосіб вимірювання відхилень ПвС від заданої глісади вимагає застосування досить складних антен і апаратури.

Висновки

Проведений аналіз сучасних систем спостереження за повітряною обстановкою дозволяє ствер-

джувати, що системи спостереження ADS-B будуть використовуватися в якості доповнення БОПЛ для заповнення розривів в радіолокаційному полі, а також як засіб заміни вторинних радіолокаторів в умовах низької та середньої щільності повітряного руху.

Система WAM (Wide Area MLAT) в недалекому майбутньому дасть можливість відмовитися від повітряно-трасових радіолокаторів та поліпшити радіолокаційне покриття.

Більш тривалий самогенеруємий сигнал отримає ймовірне застосування в тих районах повітряного простору, де на даний час не забезпечується зона дії БОПЛ. Таке застосування може здійснюватися у віддалених районах повітряного простору або на малих висотах.

Заміна БОПЛ на ADS-B в повітряному просторі з високою щільністю руху вимагає розробки надійного супутникового навігаційного джерела або використання резервного альтернативного навігаційного джерела, наприклад, інерційного обладнання.

Впровадження мультилатераційної системи стеження в аеропортах може стати першим кроком до реалізації ADS-B – достатньо буде в майбутньому додати до неї відповідні наземні передавачі.

Використання системи посадки TLS на аеродромах зі складним (обмеженим) рельєфом місцевості дозволить забезпечити наземні диспетчерські служби інформацією про ПвС (в режимах RBS і MkXA), здійснювати контроль траєкторії посадки ПвС, а також забезпечити точний захід літака на посадку за I категорії.

Список літератури

1. Автоматизоване залежне спостереження (Automatic dependent surveillance) / В.С. Дем'янчук та ін. – К., 2001. – 166 с.
2. Перевезенцев Л.Т. Вторичные моноимпульсные радиолокационные системы / Л.Т. Перевезенцев, А.А. Семёнов. – К.: Укрэзропх, 2004. – 133 с.
3. ICAO Annex 10 – Aeronautical Telecommunications. Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems. – 2007. – Volume IV, Edition 3. – 288 p.
4. ICAO Annex 10 – Aeronautical Telecommunications. Communication systems. – 2016. – Volume III. – 268 p.
5. Barton D. K. Radar technology encyclopedia / D.K. Barton, S.A. Leonov. – London: Artech House, 1998. – 511 p.
6. Langhans W. Multilateration takes off in Europe / W. Langhans // Skyway Magazine. – 2005. – P. 32-34.
7. Smith A. Multilateration technology is well suited to a wide range of applications / A. Smith, R. Hulstrom // ICAO Journal. – 2007. – Vol. 62, No. 3. – P. 12-14.
8. System Wide ADS-B Back-Up and Validation / A. Smith et al. // Proc. of 6th Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference and Workshop. – Baltimore, MD. – 2006. – P. 1-9.
9. Smith A. Methods to provide system-wide ADS-B back-up, validation and security / A. Smith // 25th AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference. – 2006. – P. 1-8.
10. Chernyak V. Potential accuracy of object localization with multilateration systems / V. Chernyak // International Journal of Microwave and Wireless Technologies. – 2009. – No. 1(3). – P. 215-222.
11. Яковлев О.І. Мультилатераційні системи спостереження повітряного руху / О.І. Яковлев та ін. – К.: ДПОПР України, 2010. – 192 с.
12. Військова техніка авіаційної радіолокації. Стан та перспективи розвитку. Частина 1. Принципи побудови вторинних моноімпульсних РЛС / В.І. Васишин, І.В. Філянін, С.І. Сивашенко, О.Г. Лебедев. – Х.: ХУПС, 2008. – 132 с.
13. Федоров А.В. Метод синхронізації системи приймачів ADS-B при веденні радіолокаційного контролю повітряної обстановки з використанням технології MLAT / А.В. Федоров, Г.В. Худов, Б.В. Бакуменко, К.А. Тахьян, С.М. Кова-левський // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – № 4(56). – С. 9-12. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.008>.

14. Transponder landing system. Патент 26898256 США, №649654, Filed: October 24, 2000; Winner ,et al. Executed Jan. 14, 2002. – Режим доступу: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetacgi%2FPTO%2Fsearchbool.html&r=1&f=G&l=50&col=AND&d=PTXT&s1=6469654.PN.&OS=PN/6469654&RS=PN/6469654>.
15. Transponder Landing System [Електронний ресурс] // FAA. – Hood River, 2021. – Режим доступу: <http://www.anpc.com/transponder-landing-system/>.
16. Flight Inspection of the Transponder Landing System [Електронний ресурс] // ANPS. – Washington, 2021. – Режим доступу: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/8200.47_Transponder_Landing_System.
17. Vysotskiy O. Транспондерна система посадки: переваги та недоліки застосування / O. Vysotskiy, V. Lebedev, O. Pavlichenko // Topical aspects of modern science and practice, Abstracts of I International Scientific and Practical Conference Frankfurt am Main, Germany September 21-24. – 2020. – P. 371-374. <https://doi.org/10.46299/ISG.2020.II.1>.
18. Технические положения, касающиеся услуг режима S и расширенного сквиттера [Електронний ресурс] // ИКАО. – 2012. – 352 с. – Режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/1206815/>.
19. Standards of USA RTCA DO-260B. Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B). – Washington, 2009. – 185 p.
20. Сухов В.В. Внедрение технологии автоматического наблюдения в системы контроля воздушного пространства / В.В. Сухов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2012. – №. 1. – С. 67-70.
21. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания / А.С. Маляренко. – Х.: ХУ РС, 2007. – 78 с.

Надійшла до редколегії 18.02.2021

Схвалена до друку 16.03.2021

Відомості про авторів:

Василишин Володимир Іванович

доктор технічних наук професор
начальник кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5461-0125>

Лебедєв Віталій Олександрович

кандидат технічних наук
старший викладач Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6552-4599>

Висоцький Олег Володимирович

кандидат технічних наук доцент
доцент Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5657-0529>

Коцюба Василь Петрович

кандидат технічних наук доцент
доцент Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6336-8193>

Information about the authors:

Volodymyr Vasylyshyn

Doctor of Technical Sciences Professor
Head of the Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5461-0125>

Vitaly Liebiediev

Candidate of Technical Sciences
Senior Instructor of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6552-4599>

Oleg Vysotskyy

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5657-0529>

Vasyl Kotsiuba

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6336-8193>

ВТОРИЧНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ КАК ОСНОВА СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКОЙ

В.И. Василишин, В.А. Лебедев, О.В. Висоцкий, В.П. Коцюба

В статье проводится анализ современных систем наблюдения за полетами воздушных судов, использующих самолетные ответчики. Рассматриваются системы зависимого и независимого наблюдения, особенности построения и использования вторичных обзорных радиолокаторов, дискретно-адресных систем вторичной радиолокации режима S, систем наблюдения с использованием более длительного самогенерируемого сигнала режима S, систем автоматиче-

ского зависимого наблюдения, систем гибридного наблюдения, мультilaterационных систем и системы посадки TLS. Определяются достоинства, недостатки и перспективы использования данных систем наблюдения воздушных судов в современной системе наблюдения за воздушной обстановкой.

Ключевые слова: бортовой ответчик, самогенерируемый сигнал (сквиттер), автоматическое зависимое наблюдение, мультilaterация.

SECONDARY RADAR AS THE BASIS OF MODERN SURVEILLANCE SYSTEMS OF THE AIR TRAFFIC

V. Vasylyshyn, V. Liebiediev, V. Vysotskyi, V. Kotsiuba

The article analyzes modern aircraft flight monitoring systems using aircraft transponders. Dependent and independent surveillance systems, the features of construction and use of the secondary surveillance radars the modes S secondary radar systems, the surveillance systems using the mode S extended longer squitter, automatic dependent surveillance systems, the hybrid surveillance systems, the multilateration systems and are considered transponder landing system. The advantages, disadvantages and prospects of application of these surveillance systems in a modern air monitoring system are determined. The performed analysis of modern surveillance systems allow to make a conclusion suggests that the ADS-B. Surveillance systems will be used as a supplement to secondary surveillance radars to fill gaps in the radar field, as well as the means of replacing secondary surveillance radars in conditions of the lights with low and medium density. The WAM system (Wide Area MLAT) will gives the possibility to avoid the application of air-route radars and improve the radar coverage. The extended squitter will likely be used in the areas of airspace where the coverage of the secondary surveillance radars is currently not available. The application of the extended squitter can be carried out in remote areas of airspace or at low altitudes. Replacing secondary surveillance radars with ADS-B in high-density airspace requires the development of a reliable satellite navigation source or the use of a backup alternative navigation source such as inertial equipment. The introduction of a multilateration tracking system at the airports may be the first step towards ADS-B. For introducing of such a system is expedient to introduce additional ground transmitters in it's composition. The use of the TLS transponder landing system at airport with difficult (limited) terrain will provide ground control services of the air traffic control system with information about the aircraft (in RBS and MkXA modes), realize the control of the aircraft landing trajectory, and ensure accurate aircraft approach, with fulfillment of requirements of I category.

Keywords: airborne response, self-generating signal (squitter), dependent surveillance system, multilateralism.