

# Контроль космічного та повітряного простору

УДК 004.045

Д.В. Головняк<sup>1</sup>, В.В. Чалий<sup>1</sup>, Т.М. Калімулін<sup>1</sup>, Г.В. Місюк<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup>Військова частина А1451, Харків

## ІНТЕГРАЦІЯ РІЗНОРІДНИХ ДЖЕРЕЛ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

В роботі розглянуто різномірні джерела, інформація з яких може бути використана в системі контролю повітряного простору. Основна увага приділена системі залежного кооперативного спостереження ADS-B та системі незалежного кооперативного спостереження MLAT.

**Ключові слова:** радіолокаційна станція, джерела спостереження, залежне спостереження, незалежне спостереження, повітряний простір, контроль повітряного простору, координати.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо [1-3], що основою інформаційного забезпечення споживачів інформації системи контролю повітряного простору є системи спостереження, які поєднуються в інформаційну мережу. Процес отримання та обробки інформації все в більший мірі є автоматизованим [3]. Ефективне використання інформації від різномірних джерел спостереження може в цілому підвищити ефективність вирішення завдань в системі контролю повітряного простору.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Інформаційна модель системи спостереження повітряного простору розроблена колективом авторів під керівництвом професора Івана Івановича Обода [2, 3]. В [2, 3] розглянуто основні інформаційні потоки взаємодії функції спостереження з операційним середовищем та основні і додаткові функції під час обміну даними спостереження. Спостереження визначається як спосіб своєчасного виявлення повітряного об'єкта (ПО) та визначення його місцеположення і своєчасне надання цієї інформації користувачам системи контролю повітряного простору [3]. В [3] визначаються такі категорії спостереження:

1. Незалежне некооперативне спостереження:
  - первинні системи спостереження.
2. Незалежне кооперативне спостереження:
  - вторинні системи спостереження;
  - мультилатерация (MLAT).
3. Залежне кооперативне спостереження:
  - ADS-C;
  - ADS-B.

**Мета статті** – розглянути можливість інтеграції різномірних джерел інформації в системі контролю повітряного простору.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

При незалежному некооперативному спостереженні місцезнаходження ПО визначається на підставі даних вимірювань без допомоги ПО. Прикладом є система, що використовує первинні системи спостереження, яка надає дані про місцезнаходження ПО, але не ідентифікує його і не дає іншої інформації про ПО. Якщо ПО в момент часу  $t_c$  знаходиться на траєкторії польоту в точці С з координатами  $(x_c, y_c, z_c)$ . (рис. 1), то відбитий радіолокаційний сигнал приймається приймачами радіолокаційних станцій (РЛС), які розташовані в точках  $A_i$  з координатами  $(x_i, y_i, z_i)$ ,  $i = \overline{1, N}$ , де  $N$  – загальна кількість приймачів РЛС (рис. 1). Розглянемо випадок, коли приймачі синхронізовані в часі, тобто вимірювання всіма приймачами здійснюються одночасно в момент часу  $t_c$ . В результаті спостережень на кожному з  $N$  приймачів вимірюється азимут  $\alpha_i$ , кут місця  $\beta_i$  та похила дальність  $D_i$  до ПО. Маємо вибірку незалежних вимірювань або вектор спостережень, який може бути представлений у вигляді (1):

$$U = (\alpha_1, \beta_1, D_1, \alpha_2, \beta_2, D_2, \dots, \alpha_N, \beta_N, D_N)^T, \quad (1)$$

де елементи вектору спостережень можна визначити як (рис. 1):

$$\alpha_i = \arctg \frac{y_c - y_i}{x_c - x_i}, \quad (2)$$

$$\beta_i = \arctg \frac{z_c - z_i}{\sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2}}, \quad (3)$$

$$D_i = \sqrt{(x_c - x_i)^2 + (y_c - y_i)^2 + (z_c - z_i)^2}, \quad (4)$$

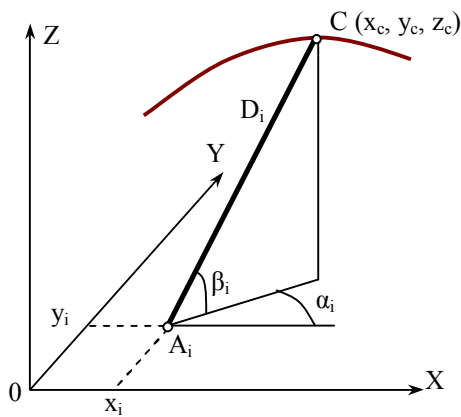


Рис. 1. Визначення елементів вектору спостережень

В результаті проведення траєкторних вимірювань визначається вектор траєкторних вимірювань  $\xi = (x_c, y_c, z_c)$ . При цьому помилки визначення елементів вектору  $\xi$  залежать від помилок траєкторних вимірів та можуть бути визначені з системи рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta\alpha_i \approx \left( \frac{\partial\alpha_i}{\partial x_c} \delta x_c + \frac{\partial\alpha_i}{\partial y_c} \delta y_c + \frac{\partial\alpha_i}{\partial z_c} \delta z_c \right) \\ \Delta\beta_i \approx \left( \frac{\partial\beta_i}{\partial x_c} \delta x_c + \frac{\partial\beta_i}{\partial y_c} \delta y_c + \frac{\partial\beta_i}{\partial z_c} \delta z_c \right) \\ \Delta D_i \approx \left( \frac{\partial D_i}{\partial x_c} \delta x_c + \frac{\partial D_i}{\partial y_c} \delta y_c + \frac{\partial D_i}{\partial z_c} \delta z_c \right) \end{cases}, \quad (5)$$

При незалежному кооперативному спостереженні місцезнаходження визначається на підставі даних вимірювань, які виконуються підсистемою локального спостереження з використанням повідомлень з борту ПО. Ці повідомлення можуть містити інформацію, отриману на борту ПО, тобто дані про барометричну висоту, пізнавальний індекс ПО та інше.

Мультилатерація являє собою вид незалежного кооперативного спостереження, при якому використовуються передані повітряним судном сигнали (зазвичай відповіді або самогенеровані сигнали прийомовідповідача на частоті 1090 МГц) для обчислення місцезнаходження повітряного судна. Оскільки системи MLAT можуть використовувати вже вживані в експлуатації передачі сигналів з борту повітряних суден, вони можуть розгортатися без будь-яких змін бортової інфраструктури [4].

Для обробки сигналів на землі потрібні відповідні приймальні станції і центральна станція обробки сигналів. Системи мультилатерації вже протягом тривалого часу успішно використовуються для спостереження в аеропортах. В даний час деякі системи застосовуються в більш великих районах, наприклад районах польотів за маршрутами або зонах підходу, і вони називаються системами WAM [4].

Мультилатераційна система MLAT являє собою багатопозиційну пасивну (або пасивно-активну) РЛС, що складається з декількох приймальних станцій, станції обробки та контрольного відповідача. Мультилатерація або гіперболічне позиціонування – процес визначення положення, заснований на різниці в часі прибуття (Time Difference of Arrival (TDOA)) сигналу, випромінюваного об'єктом у напрямку трьох або більше приймачів.

Система MLAT передбачає виявлення сигналів прийомовідповідача повітряного судна поруч приймальних станцій. У системах MLAT використовується метод TDOA для встановлення поверхонь, що представляють постійну різницю відстаней між ціллю та парами приймальних станцій. Місцезнаходження повітряного судна визначає точка перетину таких поверхонь.

Теоретично мультилатерація може виконуватися з використанням будь-яких сигналів, періодично переданих з борту повітряного судна. Однак системи, використовувані для цивільних цілей, засновані тільки на сигналах прийомовідповідачів. Система MLAT вимагає наявності, не менше, чотирьох прийомних станцій для розрахунку місцезнаходження повітряного судна. Якщо відома барометрична висота повітряного судна, то місцезнаходження повітряного судна можна визначити за наявності трьох приймаючих станцій. Проте на практиці системи MLAT використовують набагато більше приймаючих станцій для забезпечення адекватних характеристик і зони дії [4].

Точність MLAT не має лінійної залежності від розмірів зони дії. Вона залежить від геометричного розташування цілі щодо приймаючих станцій і точності, з якою можна визначити відносний час отримання сигналу на кожній станції. Типова архітектура системи MLAT для спостереження приведена на рис. 2.

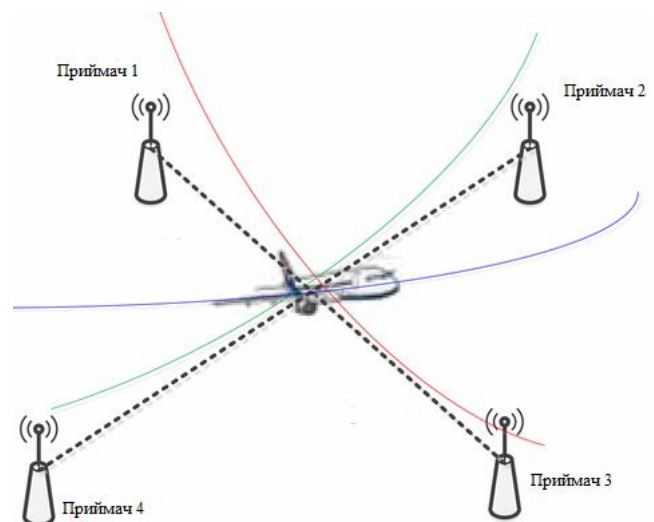


Рис. 2. Типова архітектура системи MLAT для спостереження

Система MLAT повинна використовувати єдиний опорний час для визначення відносного часу надходження сигналу на приймаючій станції. Зазвичай це робиться одним із двох способів:

- усі отримані сигнали направляються в центральну станцію обробки для отримання часової позначки по загальним часам. У цьому випадку система повинна обчислити час проходження повідомлення між кожною приймаючою станцією і центральною станцією і ввести відповідні корективи. Система передає повідомлення між центральною та приймаючими станціями для контролю і коректування часу проходження;

- годинник на всіх приймачах синхронізують за загальним опорним часом (наприклад, по GNSS) або з використанням передавача у відомому місці. Відстань між таким передавачем та приймаючими станціями відома, так що за допомогою відстеження часу надходження сигналів від цього передавача на кожну приймаючу станцію можна вносити корективи в цілях підтримки синхронізації годин приймачів.

Системи MLAT можуть обробляти сигнали ES двома способами:

- шляхом використання TDOA, як і з іншими сигналами прийомовідповідача;

- шляхом декодування повідомлення для визначення місцезнаходження (широти і довготи) повітряного судна, барометричної висоти і швидкості.

Системи мультілатерації можуть використовуватися для спостереження за рухом на поверхні аеропорту, в зоні аеродрому і при польоті по маршруту. Її застосування для спостереження за рухом на поверхні залежить від того, чи працюють бортові прийомовідповідачі на землі. На багатьох повітряних судах робота прийомовідповідачів контролюється датчиком обтиску стійок, також має назву перемикачем датчика. Приймівідповідачі режиму S продовжують передавати самогенеровані сигнали і можуть отримувати селективні запити, перебуваючи на землі. Однак часто прийомовідповідачам режиму A/C забороняють відповідати на запити під час знаходження повітряного судна на землі, щоб зменшити перешкоди для розташованих поблизу радіолокаційних систем.

Система MLAT складається з декількох антен, які приймають сигнал від повітряного судна, і центрального процесора, що обчислює розташування повітряного судна за значеннями TDOA сигналу на різних антенах. Математично TDOA між двома антенами відповідає гіперболоїду (у трьох координатах простору), на якому знаходиться повітряне судно. У тому випадку, коли сигнал повітряного судна приймають чотири антени, можна визначити три координати місцезнаходження повітряного судна, розрахувавши перетин результуючих гіпербол.

Коли є тільки три антени, три координати місцезнаходження неможливо визначити безпосеред-

ньо, однак, якщо з іншого джерела (наприклад, за даними режиму C або при знаходженні повітряного судна на землі) відома його абсолютна висота, то можна розрахувати місцезнаходження повітряного судна. Така ситуація звичайно називається як двомірне рішення. Слід зазначити, що використання барометричної абсолютної висоти (режим C) може стати причиною менш точного розрахунку місцезнаходження ПО, оскільки барометрична абсолютна висота може значно відрізнятись від геометричної відносної висоти [4].

При наявності більш ніж чотирьох антен, додаткова інформація може використовуватися або для перевірки правильності інших вимірів, або для розрахунку середнього місцезнаходження по всіх вимірах, яке повинно мати меншу сумарну похибку. Приведений на рис. 3 приклад пояснює даний принцип [4]. Показана система WAM, що включає п'ять прийомних станцій (з номерами 0-4).

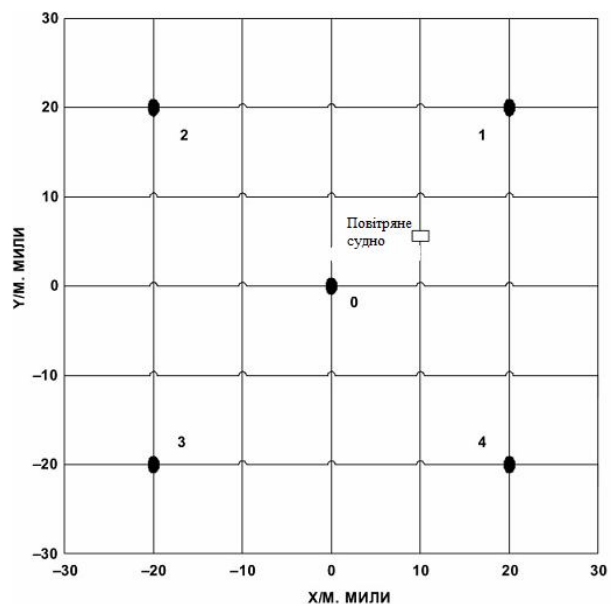


Рис. 3. Типова архітектура системи MLAT для спостереження [4]

Таким чином, MLAT є перехідним етапом до системи, в рамках якої більшість повітряних суден будуть обладнані засобами ADS-B [4].

При залежному кооперативному спостереженні місцезнаходження визначається на борту ПО, і ця інформація передається підсистемі локального спостереження поряд з можливими додатковими даними, використовуючи як свої засоби передавання інформації, так і супутникові канали передачі інформації.

У теперішній час перспективними вважаються засоби спостереження, що засновані на принципах незалежного кооперативного спостереження (наприклад, SSR), залежного кооперативного спостереження (ADS, MLAT ACAS) або на комбінації двох цих технологій (A-SMGCS) [3].

Як показує досвід, інтеграція різномірних джерел спостереження за повітряним простором є основним напрямком удосконалення національних та європейських систем контролю повітряного простору [5].

Так, використання технології кооперативного спостереження ADS-B дозволяє значно збільшити обсяг доступної для прийняття рішення інформації при виявленні ПО [5].

ПО, що оснащені системою ADS-B, автоматично направляють на наземну станцію повідомлення, що містять дані спостереження. Основні елементи даних у повідомленнях, що передаються в режимі радіоповідомлення, такі:

- пізнавальний індекс ПО;
- дані щодо місцеположення;
- вектор швидкості;
- барометрична висота;
- стан, індикатори аварійної ситуації і спеціальний індикатор місцеположення.

Дані щодо місцеположення та векторі стану ПО, що передаються по лінії передачі даних системи ADS-B, можуть представлятися:

- елементом бортової навігаційної системи, яка визначає місцеположення, як правило, бортова система управління польотом, що забезпечує зональну навігацію;

- окремим датчиком – приймачем глобальної навігаційної супутникової системи.

Використання інформації від системи ADS-B дозволить суттєво підвищити точність виміру координат та отримати додаткові дані (тип ПО, реєстраційний номер, країну реєстрації, власника ПО, позивний). Так, колективом вчених під керівництвом професора Сергія Петровича Лещенка подальшим напрямком удосконалення процедур збору, обробки та відображення інформації про повітряну обстановку, які реалізовані в системі «Віраж-планшет», стає використання даних від системи ADS-B, що також дозволить отримувати додаткові відомості про ПО [5].

## Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі розглянуто різномірні джерела, інформація з яких може бути використана в системі контролю повітряного простору. Основна увага приділена системі залежного кооперативного спостереження ADS-B та системі незалежного кооперативного спостереження MLAT.

У подальшому необхідно провести дослідження щодо складу інформації від різномірних джерел та провести оцінку ефективності функціонування системи контролю повітряного простору з використанням додаткової інформації.

## Список літератури

1. Свид І.В. Синтез структури інформаційного забезпечення споживачів інформаційними системами спостереження повітряного / І.В.Свид, А.І.Обод // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 2 (43). – С. 67–70.
2. Обод І.І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015, 2015. – 270 с.
3. Обод І.І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І.І.Обод, О.П.Черних, В.В.Заволодько, О.Ю.Ткаченко // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 5 (142). – С. 35–37.
4. Гонца Д.І. Використання складних широкопasmових сигналів у системі мультиратерації MLAT [Електронний ресурс] / ДонНТУ. – Режим доступу: URL: <http://masters.donntu.org/2014/frt/gontsa/diss/indexu.htm> – 10.10.2017.
5. Лещенко С.П., Колеснік О.М., Бейліс Л.В., Грицаєнко С.А. Шляхи створення єдиної картини повітряної обстановки для виявлення загрозових і крихових ситуацій в повітрі. Новітні технології — для захисту повітряного простору: Тези допов. 13 наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (Харків 12–13 квіт. 2017). Х.: ХНУПС, 2017. С. 204.

Надійшла до редколегії 15.10.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ НАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

Д.В. Головняк, В.В. Чалый, Т.М. Калимулин, Г.В. Мисюк

*В работе рассмотрены разнородные источники, информация с которых может быть использована в системе контроля воздушного пространства. Основное внимание уделено системе зависимого наблюдения ADS-B и системе независимого кооперативного наблюдения MLAT.*

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, источник наблюдения, зависимое наблюдение, независимое наблюдение, воздушное пространство, контроль воздушного пространства, координаты.

## INTEGRATION OF DIFFERENT SOURCES OF SURVEILLANCE IN THE AIRSPACE CONTROL SYSTEM

D.V. Golovniyak, V.V. Chalyi, T.M. Kalimulin, G.V. Misiyuk

*The paper considers different sources, the information from which can be used in the airspace control system. The main attention is paid to the system of dependent surveillance ADS-B and to the system of independent cooperative observation of MLAT.*

**Keywords:** radars, source of observation, dependent observation, independent observation, airspace, airspace control, coordinates.