

УДК 004.045:621.396.96

І.І.ОБОД, докт.техн.наук, НТУ «ХП»;

М.Ю.ОХРИМЕНКО, НТУ «ХП»

**ВИМІРЮВАННЯ ВИСОТИ ПОЛЬОТУ ПОВІТРЯНОГО
ОБ'ЄКТУ В ЄДИНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМ
СПОСТЕРЕЖЕННЯ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ОБРОБКОЮ
ІНФОРМАЦІЇ**

Розглянуто можливість виміру висоти польоту літального апарата за вимірами похилої дальності. Проведено математичне моделювання чутливості вимірювання висоти літального апарата до помилок синхронності формування часу приймальних пунктів. Розглянуто залежність чутливості вимірювання висоти від геометрії розташування приймальних пунктів. Висунуто вимоги щодо синхронності шкал часу при вимірюванні висоти.

Possibility of determination of aircraft height is considered by measuring of slant range is considered. Mathematical modeling of sensitivity of measuring of aircraft height is conducted to the errors in synchronism of forma-sensitivity of receiving points time was carried out. Dependence of sensitivity of measuring height on geometry of disposition of receiving points is considered. Requirements to synchronism of time scales in height measurement are proposed.

Постановка завдання та аналіз літератури. У відповідності до державної цільової науково-технічної програми створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження) затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2008 р. № 834 в Україні планується проведення ряду заходів щодо створення інтегрованої інформаційної системи з метою наближення розвитку транспортної галузі України до світового рівня на основі використання сучасних інформаційних технологій.

У роботі [1] обговорюється можливість реалізації подібної системи у вигляді єдиної інформаційної мережі (ІМ) систем спостереження (СС). Створення такої ІМ дозволяє отримати ряд переваг у інформаційному забезпеченні споживачів [1,2,3]. Перехід до синхронної мережі (СМ) систем спостереження, як показано у зазначених роботах, дозволяє здійснити кооперативний прийом сигналів та розподілену обробку інформації. Одночасне вимірювання дальності до повітряного об'єкту, що спостерігається, дозволяє вимірювати висоту польоту ПО, що значно покращує інформаційне забезпечення користувачів. Однак відомо [4,5], що точність вимірювання висоти польоту ПО у цьому випадку залежатиме як від точності вимірю похилої дальності, так і від точності часового забезпечення [3]. Крім того, слід зазначити, що геометрія інформаційної мережі при вимірі висоти польоту ПО, тобто геометричний фактор, має вплив у результатуючу точність вимірю. Розглянемо геометричний фактор при вимірі висоти польоту ПО за даними вимірю похилої дальності, на основі якого можливо розробити вимоги до потрібної точності формування шкал часу на приймальних пунктах СМ.

Мета роботи – розробка вимог щодо синхронності шкал часу в єдиній синхронній інформаційній мережі СС при вимірюванні висоти польоту ПО.

Основна частина. Використання вимірів похилої дальності до ПО декількох пунктів СМ дозволяє вимірювати висоту польоту об'єкта, що дозволяє підвищити інформаційні можливості сучасних СС.

Розглянемо СМ, що складається з n пунктів. Для первинної СС це буде n наземних приймальних пунктів, один із яких випромінюючий, а для вторинної СС – це $n-1$ наземних приймальних пунктів і один випромінюючий відповідач ПО. З вищевикладеного випливає, що обидві задачі ідентичні.

Припустимо, що з ПО в момент часу $T_n(t)$ відбувається випромінювання сигналу ідентифікації ПО. Припустимо також, що є чотири наземні

приймальні пункти. Отже, у кожному із приймальних пунктів у момент часу $T_i(t)$ ($i=0, \dots, 3$) здійснюється приймання сигналу ідентифікації. Вважаючи шкали часу, формовані в пунктах системи, високо стабільними можна виключити залежність часових процесів від t . Таким чином, час прибуття сигналу ідентифікації в кожний із приймальних пунктів можна записати як

$$T_i = T_u + R_i / c .$$

Віднімаючи час прибуття в базовий пункт обробки (вважаємо його нульовим) від часу інших приймальних пунктів можна записати

$$R_i - R_0 = c(T_i - T_0) = r_i, \quad i=1,2,3 .$$

Виходячи з геометрії розташування приймальних і випромінюючого пунктів, можна записати

$$R_0^2 = x^2 + y^2 + z^2, \quad R_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 . \quad (1)$$

З (1) можна одержати

$$R_i^2 - R_0^2 = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 - 2(x_i x + y_i y + z_i z) . \quad (2)$$

Використовуючи (1) і (2) можна записати

$$R_i^2 - R_0^2 = (R_i - R_0)(R_i + R_0) = (r_i + 2R_0)r_i . \quad (3)$$

Підставляючи (3) у (2) і здійснюючи перестановку одержуємо

$$2(x_i x + y_i y + z_i z + r_i R_0) = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 - r_i^2 . \quad (4)$$

Потрібно оцінити вплив помилок часової синхронізації пунктів приймання на вимірювання висоти, тобто координати z . Окреме диференціювання (4), з урахуванням $T_{ij} = 0, 1, 2, 3$, дозволяє записати

$$2(x_i dx/dT_j + y_i dy/dT_j + z_i dz/dT_j + r_i dR_0/dT_j + R_0 dr_i/dT_j) = 2r_i dr_i/dT_j . \quad (5)$$

Використовуючи результати диференціювання (5) можна записати

$$\begin{array}{cccc|cccc} x & y & z & -R_0 & dx/dT_0 & dx/dT_1 & dx/dT_2 & dx/dT_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & y_1 & z_1 & r_1 & dy/dT_0 & dy/dT_1 & dy/dT_2 & dy/dT_3 & R_1 & -R_1 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & z_2 & r_2 & dz/dT_0 & dz/dT_1 & dz/dT_2 & dz/dT_3 & R_2 & 0 & -R_2 & 0 \\ x_3 & y_3 & z_3 & r_3 & dR_0/dT_0 & dR_0/dT_1 & dR_0/dT_2 & dR_0/dT_3 & R_3 & 0 & 0 & -R_3 \end{array} = \quad (6)$$

Якщо вираз (6) записати як $\vec{D}\vec{A} = \vec{R}$ то його рішення є

$$\vec{A} = \vec{D}^{-1}\vec{R} . \quad (7)$$

Отже для обраного розташування приймальних пунктів СМ і позиції ПО матриці \vec{D} і \vec{R} відомі і вираз (7) можна розв'язати.

Як впливає з (7) третій ряд оціненої матриці \vec{A} являє собою чутливість вимірювання висоти ПО до помилок як вимірю похилої дальності, так і синхронності формування шкал часу приймальних пунктів. Якщо всі виміри похилої дальності та часові інтервали однаково чуттєві до помилок формування СМ, то сума квадратичних помилок являє собою загальне значення геомет-

ричного фактора.

Розрахунки чутливості вимірювання висоти, нормованої на швидкість світла, наведені на рис. 1 – 4. Розрахунки проводились для випадку фіксованої висоти ПО $z = 5000$ м та трикутного розташування наземних приймальних пунктів у точках з координатами:

- 1) рис. 1 – $(0; 50 \cdot 10^3), (50 \cdot 10^3; -50 \cdot 10^3), (-50 \cdot 10^3; -50 \cdot 10^3)$;
- 2) рис. 2 – $(0; 100 \cdot 10^3), (100 \cdot 10^3; -100 \cdot 10^3), (-100 \cdot 10^3; -100 \cdot 10^3)$;
- 3) рис. 3 – $(0; 150 \cdot 10^3), (150 \cdot 10^3; -150 \cdot 10^3), (-150 \cdot 10^3; -150 \cdot 10^3)$;
- 4) рис. 4 – $(0; 200 \cdot 10^3), (200 \cdot 10^3; -200 \cdot 10^3), (-200 \cdot 10^3; -200 \cdot 10^3)$.

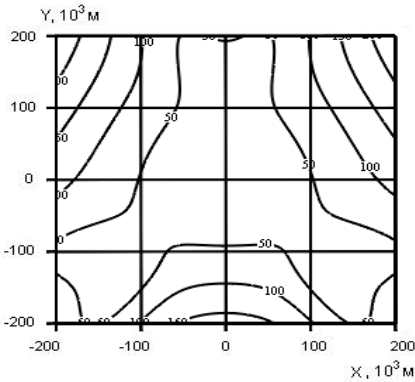


Рисунок 1 – Чутливість вимірювання висоти ПО

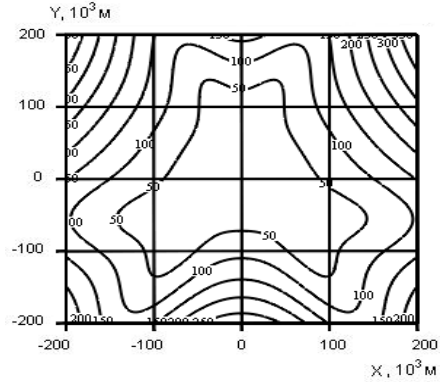


Рисунок 2 – Чутливість вимірювання висоти ПО

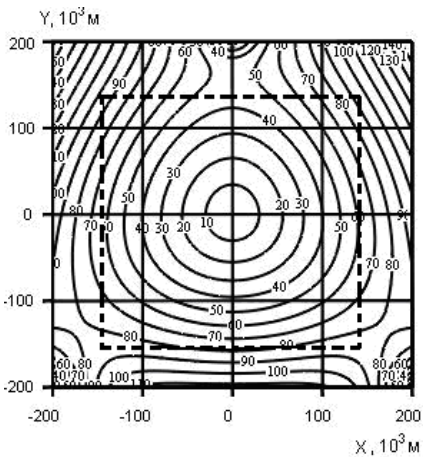


Рисунок 3 – Чутливість вимірювання висоти ПО

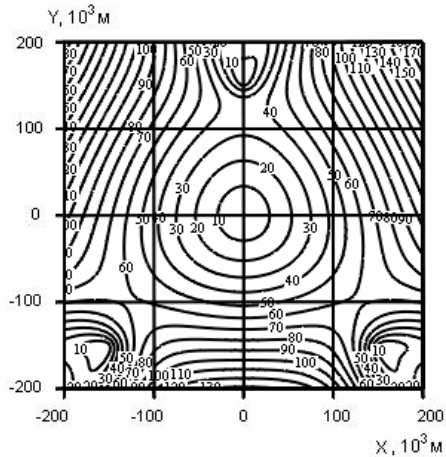


Рисунок 4 – Чутливість вимірювання висоти ПО

З рисунків видно, що чутливість вимірювання висоти залежить від геометрії розташування приймальних пунктів синхронної мережі систем спостереження. При збільшенні відстані між пунктами прийому – зростає площа, що охоплена кривими рівної чутливості.

Для визначення необхідної точності синхронізації шкал часу приймальних пунктів при вимірюванні висоти ПО потрібно ураховувати, що сумарна похибка вимірю похилої дальності визначається як

$$\sigma_{d\Sigma} = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_{ch}^2},$$

де σ_{ch}^2 – дисперсія похибки синхронності формування шкал часу приймальних пунктів СМ, перерахована у дальність, σ_d^2 – дисперсія похибки вимірю похилої дальності, котра визначається як $\sigma_d^2 \approx \left(\frac{c\tau_c}{q}\right)^2$, де τ_c – тривалість сигналу, який використовується у СМ, q – відношення сигнал/шум на прийальному пункті.

Можливо показати, що при використанні рівної ваги у складовій точності вимірю дальності, а отже і у вимірі висоти польоту ПО, точність синхронності шкал часу приймальних пунктів складає десятки нС, що досягається сучасними засобами зв'язку часу.

Висновки. Використання наведеної методики дозволяє висувати вимоги щодо синхронності шкал часу в єдиній синхронній інформаційній мережі систем спостереження при вимірюванні висоти ПО.

Список літератури: 1. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони // *В.В.Ткачев, Ю.Г.Даник, С.А.Жуков, І.І.Обод, І.О.Романенко.* – К.:МОУ, 2004. – 342 с. 2. Теоретичні основи побудови заводозахисених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / *В.В.Ткачев, Ю.Г.Даник, С.А.Жуков, І.І.Обод, І.О.Романенко.* – К.: МОУ, 2004. – 271 с. 3. *Обод І.І., Заволодько Г.Е., Охрименко М.Ю.* Єдине координатно-часове забезпечення як основа розв'язування протиріч інформаційної мережі систем спостереження // *Вестник НТУ «ХПІ».* – Харьков, НТУ «ХПІ». – 2008. – Вып. 24. – С. 113-119. 4. *Фарина А., Студер Ф.* Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с. 5. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 415 с. 6. Патент на корисну модель, № 31507 (UA). Спосіб інформаційного забезпечення керування польотами авіації / *І.І.Обод, М.Ю.Охрименко.*

Надійшла до редакції 31.03.2009.