

*И.И. ОБОД*, д-р техн. наук,  
*Ю.А. ЛУЦЕНКО*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ ОБЪЕКТОВ В СИНХРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ**

Надаються вимоги до потрібної стабільності формування шкал часу у синхронній інформаційній мережі при вимірюванні висоти літака по дальномірним вимірюванням.

The requirements of necessary stability of forming of time-scales in a synchronous information network at calculation of airplane height on distance measuring are given.

**Постановка задачи и обзор литературы.** В ведущих странах мира довольно длительное время существуют национальные единые системы контроля использования воздушного пространства как войсковой, так и гражданской авиацией. Очевидно, что при этом достигается максимальная эффективность использования воздушного пространства при сравнительно низких материальных, технических и людских затратах.

Одной из составляющих системы контроля использования воздушного пространства является единая информационная сеть (ЕИС) на базе существующих систем наблюдения (СН). Сетевому построению информационных средств в настоящее время уделяется значительное внимание [1 – 7]. В частности, существующие национальные единые системы контроля использования воздушного пространства, как правило, реализованы на сетевом использовании отдельных информационных средств [3] (программы 968Н, ACCS и др.). Основными задачами этих программ являются объединение в общую сеть существующих СН различных ведомств и централизованное управление этой сетью вышестоящим органом. При этом сеть реализована на несинхронном принципе и используется трехмерная система координат. Объединенная информация сети выдается потребителям. Однако такой принцип организации сети обедняет информационное обеспечение потребителей и не разрешает проблем отдельных информационных средств, в частности, систем вторичной радиолокации, совместного функционирования систем первичной и вторичной радиолокации и т.д. Переход к синхронному принципу построения сети, в которой используется четырехмерная система координат, как показано в [4 – 7] позволит обеспечить полное и надежное информационное обеспечение потребителей, а также разрешить проблемы функционирования отдельных информационных средств. Кроме того, использование четырехмерной системы координат в синхронной информационной сети (СИС) расширяет функциональные возможности такой сети, в частности, появляется возможность реализации кооперативного приема

сигналов, измерения высоты летательного аппарата (ЛА) по дальномерным измерениям и т.д.

**Цель работы.** Оценка качества измерения высоты ЛА по дальномерным измерениям в синхронной информационной сети.

**Основная часть.** Как известно из [8, 9], используя измерения наклонной дальности до ЛА нескольких пунктов СИС, можно измерить высоту полета объекта. При этом необходимо отметить, что такая задача стоит как перед первичными, так и перед вторичными радиолокаторами. Действительно, как показано в [7], СИС систем вторичной локации (ВРЛ) предполагает переход к беззапросным системам и, следовательно, требует измерения высоты излучающего объекта. В связи с этим будем решать задачу совместного измерения высоты ЛА системами как первичной, так и вторичной локации.

Рассмотрим СИС, которая состоит из  $n$  приемных пунктов (рис.1). Для первичной системы это будет  $n$  наземных приемных пунктов эхо-сигналов, один из которых – излучающий, а для вторичной системы – это  $n$  наземных приемных пунктов ответных сигналов. Таким образом, задачи измерения высоты ЛА по эхо-сигналам и ответным сигналам идентичны. Точность измерения высоты ЛА зависит от точности измерения времени приема сигнала, точности синхронизации шкал времени приемных пунктов, а также от взаимного расположения приемных пунктов и ЛА.

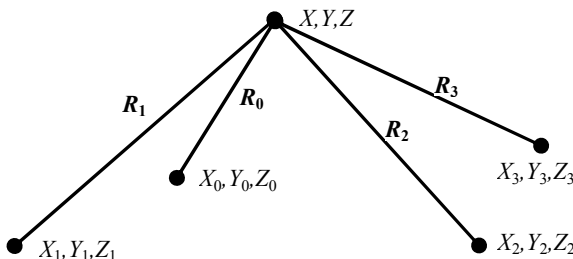


Рис.1. Геометрия системы

Предположим, что с ЛА в момент времени  $T_k(t)$  происходит излучение или эхо, или ответного сигнала. Предположим также, что имеется четыре наземных приемных пункта. Следовательно, в каждом из приемных пунктов в момент времени  $T_i(t)$  ( $i = 0, \dots, 3$ ) осуществляется прием излученного ЛА сигнала. Считая шкалы времени, формируемые в приемных пунктах СИС, высокостабильными, можно опустить зависимость временных процессов от  $t$ . Таким образом, время прибытия сигнала ЛА в каждый из приемных пунктов СИС можно записать как  $T_i = T_k + R_i / c$ , где  $c$  – скорость света.

Вычитая время прибытия в базовый пункт обработки (считаем его нулевым) из времени остальных приемных пунктов, можно записать

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

Однако, исходя из геометрии расположения приемных и излучающего пунктов, можно записать

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

Из (1) можно получить

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

Используя (2) и (1), можно записать

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

Подставляя (3) в (2) и осуществляя перестановку, получаем

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

Нам требуется оценить влияние ошибок синхронизации шкал времени пунктов приема, т.е.  $T_i$ , на измерение высоты, т.е. на координаты  $z$ . Дифференцирование (4) позволяет записать

$$2 \left( x_i \frac{dx}{dT_j} + y_i \frac{dy}{dT_j} + z_i \frac{dz}{dT_j} + r_i \frac{dR_0}{dT_j} + R_0 \frac{dr_i}{dT_j} \right) = -2r_i \frac{dr_i}{dT_j}, \quad (5)$$

для  $i = 1, 2, 3; j = 0, 1, 2, 3$ .

Используя результаты дифференцирования (5), а также исходя из (1)

$$x \frac{dx}{dT_j} + y \frac{dy}{dT_j} + z \frac{dz}{dT_j} - R_0 \frac{dR_0}{dT_j} = 0,$$

можно записать

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

Скорость света опущена из выражения (6) с учетом того, что ошибки в формировании шкал времени даны с точки зрения дальности. Если выражение (6) записать как  $\bar{D}\bar{A} = \bar{R}$ , то получим

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

Следовательно, для выбранного расположения приемных пунктов СИС и позиции ЛА матрицы  $\bar{D}$  и  $\bar{R}$  известны и выражение (7) можно решить. Как следует из (7), третий ряд оцененной матрицы  $\bar{A}$  представляет собой чувствительность измерения высоты ЛА к ошибкам синхронности формирования шкал времени приемных пунктов. Если все измеряемые интервалы времени одинаково чувствительны к ошибкам формирования СИС, то сумма квадратических ошибок представляет собой ни что иное, как общее

значение геометрического фактора (ГФ) [9]. Некоторые результаты расчета по выражению (7) представлены на рис. 2 и 3 при различных конфигурациях приемных пунктов и высоты ЛА. Рис.2 представлен для равномерного расположения трех пунктов на радиусе 45 км. вокруг базового приемного пункта, а рис. 3 – для треугольного. Высота полета ЛА была равной 5000 м.

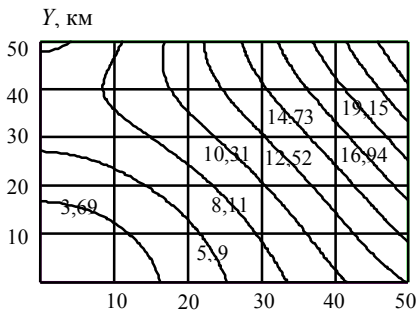


Рис. 2. Зависимость  $P=f(x,y)$

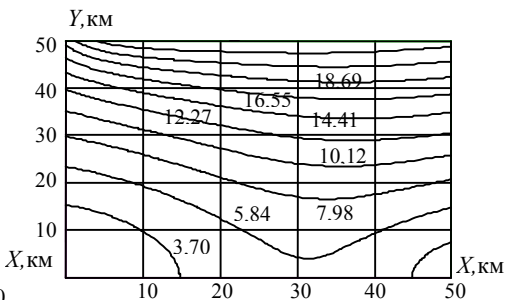


Рис. 3. Зависимость  $P=f(x,y)$

Представленные расчеты позволяют оценить требуемую точность синхронизации шкал времени приемных пунктов синхронной информационной сети систем наблюдения при вычислении высоты ЛА по дальномерным измерениям.

**Выводы.** Реализация синхронной информационной сети систем наблюдения, в которых время является одной из координат, позволяет осуществить измерение высоты летательного аппарата путем измерения наклонной дальности в пунктах сети.

**Список литературы:** 1. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с. 2. Farina A., Studer F.A. Radar Data Processing Introduction and Tracking. Vol.1. Research Studies Press. Letch worth England, 1985. – P. 121-123. 3. Lok J.J.  $C^2$  for the air warrior // Jane's International Defense Review. – October 1999. – Vol. 2. – P. 53-59. 4. Теоретичні основи побудови заводозахисних 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. 5. 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. 6. Обод І.І., Луценко Ю.А. Информационная сеть систем наблюдения как основа информационного обеспечения потребителей // Вестник НТУ "ХПИ". Сборник научных трудов. Тем. вып. "Информатика и моделирование". – Х.: НТУ "ХПИ", 2006. – № 40. – С. 153–156. 7. Бакуменко Б.В., Булай А.М., Обод І.І. Єдине координатно-часове забезпечення як основа розв'язування протиріч спільного функціонування систем первинної і вторинної радіолокації // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 5 (54). – Х.: ХУПС. – 2006. – С. 3–9. 8. Скольник М. Справочник по радиолокации в 4-х т. – Т.3. – М.: Сов. радио, 1978. – 475 с. 9. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1986. – 263 с.

Поступила в редакцию 15.04.2007