

*И.И. ОБОД*, д-р техн. наук,  
*Д.А. ГРИБ*, канд. техн. наук,  
*В.П. ГОЛОВАНОВ*

## **ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

Надаються розрахунки показників якості вимірювання азимуту об'єктів у ідентифікаційній системі, яка утворена системами радіолокаційного опізнання та вторинної радіолокації.

The calculations of quality indexes of objects azimuth measuring in the identification system, which formed by systems of radiolocation identification and secondary radiolocation are given.

**Постановка проблемы.** Решение задач, стоящих перед Воздушными Силами, во многом определяется информационным обеспечением (ИО). Основой ИО являются системы первичной радиолокации. Однако обеспечивающими, а иногда и основными информационными системами (ИС) являются запросные радиотехнические системы (РТС). Запросные РТС предназначены для решения следующих задач: определения координат летательного аппарата (ЛА); получения дополнительной полетной информации, необходимой для контроля и управления полетами и наведения ЛА; радиолокационного опознавания государственной принадлежности (идентификация) обнаруженных воздушных объектов (ВО); диспетчерского опознавания ЛА. Система радиолокационного опознавания (РЛО) государственной принадлежности обнаруженных объектов является важной обеспечивающей системой. Она должна решать задачу идентификации как в интересах определения степени опасности обнаруженной цели, так и при непосредственном применении оружия. Однако, принцип построения ответчиков, принцип обслуживания запросных сигналов и принцип построения сети систем РЛО [1, 2] предопределили крайне низкую помехоустойчивость рассматриваемых систем. В связи с этим вопросы, касающиеся повышению помехоустойчивости рассматриваемых систем, являются актуальными.

**Анализ литературы.** Опыт ведущих стран мира свидетельствует, что в них уже довольно длительный срок существуют национальные единые системы контроля использования воздушного пространства. Одной из составляющих такой системы является ИС систем наблюдения (СН) [1 – 3]. Сетевому построению СН уделяется значительное внимание [3, 4]. Основой при этом является – объединение в общую ИС информации существующих СН различных ведомств и централизованное управление этой сетью. Объединенная информация сети выдается потребителям. Однако низкая помехоустойчивость

идентификационных систем, информация которых крайне важна для потребителей, стимулирует поиск новых принципов организации единой ИС, в которой сочеталось бы полное и надежное информационное обеспечение потребителей, а также разрешались проблемы функционирования отдельных СН (в частности, идентификационных систем). При этом следует отметить, что идентификация объектов в ИС осуществляется путем выдачи координатной информации идентифицированных объектов.

**Цель работы.** Исследование показателей качества измерения координат ВО в СН, образованной системами РЛО и вторичной радиолокации (ВРЛ).

**Основная часть.** В настоящее время широко используется возможность к комплексированию существующих СН для повышения качества измерения координат ВО [4, 5]. Комплексирование информации при этом возможно как совместных или совмещенных, так и рассредоточенных систем наблюдения. Это несколько изменяет структуру ИС. При идентификации ВО может быть использована информация систем РЛО, систем ВРЛ, встроенного канала ВРЛ, а также канала индикации радиосистем ближней навигации [6, 7].

Предположим, что одновременно производится оценка вектора измерения  $\vec{\alpha}$  в  $M$  СН. Если задаться нормальным законом распределения каждой из составляющих вектора  $\vec{\alpha}$ , то, учитывая некоррелированность измерений в каналах обработки, логарифм отношения правдоподобия с точностью до постоянной величины можно записать как [8]

$$\ln l = \sum_{k=1}^M \ln l_k = \sum_{k=1}^M \left[ -\frac{1}{2} \left( \vec{\alpha} - \hat{\alpha}_k \right)^T \vec{C}_k \left( \vec{\alpha} - \hat{\alpha}_k \right) \right], \quad (1)$$

где  $\hat{\alpha}_k$  и  $\vec{C}_k$  – оценки и матрицы точности оценивания по сигналам каждой из рассматриваемых СН. Выражение (1) с точностью до постоянной величины можно привести к виду

$$\ln l = -\frac{1}{2} \left( \vec{\alpha} - \hat{\alpha} \right)^T \vec{C} \left( \vec{\alpha} - \hat{\alpha} \right),$$

где  $\hat{\alpha}$  – результирующая оценка,  $\vec{C}$  – матрица точности, которую можно определить из следующих выражений

$$\hat{\alpha} = \vec{C}^{-1} \sum_{k=1}^M \vec{C}_k \hat{\alpha}_k, \quad \vec{C} = \sum_{k=1}^M \vec{C}_k. \quad (2)$$

Таким образом, на основании выражений (2) возможно формирование результирующей оценки координат воздушных объектов при использовании оценки параметров сигналов в каждой из СН. Для исследования показателей качества измерения координат ВО при комплексировании информации СН (будем рассматривать комплексированную СН, образованную системами

радиолокационного опознавания и вторичной радиолокации) получим выражение для среднеквадратической ошибки (СКО) измерения азимута в такой запросной системе.

Для определения нижней границы дисперсии оценки азимута по пачке бинарно-квантованных сигналов воспользуемся известным выражением [8]

$$\sigma_{\beta}^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^M (dP_{2i} / d\beta)^2 \left\{ \frac{1}{[P_{2i}(1 - P_{2i})]} \right\}},$$

где  $P_{2i}$  – вероятности обнаружения сигналов.

Предположим, что с выхода приемника системы ВРЛ поступает бинарно-квантованная последовательность, содержащая  $M$   $n$ -импульсных ответных сигналов. Для удобства вычислений представим производную  $dP_{2i} / d\beta$  в следующем виде

$$dP_{2i} / d\beta = (dP_{2i} / dP_{1i})(dP_{1i} / dq_i)(dq_i / d\beta).$$

Значение вероятности  $P_{2i}$  для  $n$ -импульсного интервально-временного кода запросных систем ВРЛ определяется логикой обработки сигналов в дешифраторе и коэффициентом готовности самолетного ответчика ( $P_o$ ) и ее можно записать как

$$P_{2i} = P_o P_{1i}^n.$$

Величина  $q_i$  может быть записана как [8]  $q_i = q_o g(\alpha_i)$ , где  $g(\alpha_i)$  – диаграмма направленности антенной системы запросчика ВРЛ. Аппроксимируем диаграмму направленности антенной системы гауссовой кривой  $g(\alpha_i) = \exp(-\alpha_i^2)$  и используем для численных расчетов  $\alpha_i$  в следующем виде (при нечетном  $N$ )  $\alpha_i = i\Delta\beta / \varphi$ ,  $[-(M-1)/2 < i < (M-1)/2]$  где  $\varphi$  – половина ширины диаграммы направленности антенной системы запросчика ВРЛ,  $\Delta\beta$  – угловое расстояние между соседними импульсами пачки. Используя [8] результаты вычисления производных  $dP_{1i} / dq_i$  и  $dq_i / d\beta$ , определяем  $dP_{2i} / dP_{1i}$ , что позволяет определить выражение для  $\sigma_{\beta}$  в следующем виде:

$$\sigma_{\beta} = \frac{\varphi^2 \exp(z_o^2 / 2)}{2n\Delta\beta z_o q_o \sqrt{P_o A_{\beta}}}, \quad (3)$$

$$\text{где } A_{\beta} = \sqrt{2 \sum_{k=1}^{(M-1)/2} P_{1k}^{n-2} \exp(-q_k^2) I_1^2(q_k z_o) k^2 g^2(q_k) / (1 - P_o P_{1k}^n)}.$$

На рисунке представлены зависимости СКО измерения азимута для системы ВРЛ ( $B_2$ ), для которой  $P_0 = 0,9$ , для системы РЛО ( $B_1$ ), для которой  $P_0 = 0,7$  и при комплексировании (с) рассматриваемых систем. Кроме того, на рисунке представлены зависимости СКО измерения азимута в зависимости от отношения  $c/\sigma$  и для первичной РЛС (п).

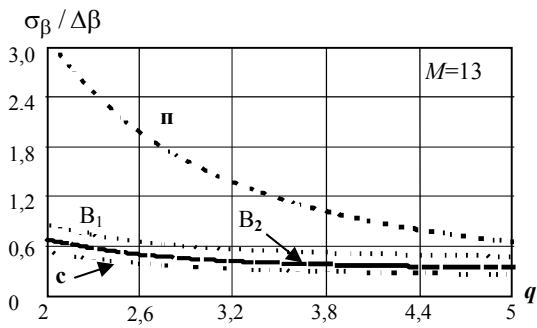


Рис. СКО измерения азимута ВО

Представленные зависимости указывают на повышение качества измерения азимута ВО при комплексировании СН для решения задачи идентификации ВО.

**Выводы.** Представленные в работе расчеты показали повышение точности измерения азимута ВО в СН, образованной системами радиолокационного опознавания и вторичной радиолокации. Таким образом, при построении единой информационной сети систем наблюдения следует учитывать особенности комплексирования информации совместных, совмещенных или рассредоточенных систем наблюдения для решения отдельных информационных задач, в частности, задачи идентификации воздушных объектов.

**Список литературы:** 1. 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. 2. 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. 3. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Пер. с англ.– М.: Радио и связь, 1993. – 320 с. 4. Farina A., Studer F.A. Radar Data Processing Introduction and Tracking. Vol.1. Research Studies Press. Letch worth England, 1985. – P. 121-123. 5. Lok J.J. C<sup>2</sup> for the air warrior // Jane's International Defense Review. – October 1999. – V. 2. – P. 53-59. 6. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. – М.: ЦИИТ, 1998. – 118 с. 7. Рысаков Н.Д., Павленко М.И. Принципы построения вторичных РЛС. – Харьков: ХВВАУРЭ, 1986. –165 с. 8. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 453 с.

Поступила в редакцию 01.04.2007