

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СТАНЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА «ОСА»

И.И. Обод, А.А. Наконечный, И.Л. Страшный, А.И. Григус
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Приводится анализ показателей качества обнаружения и измерения координат воздушных целей при введении в состав станции обнаружения целей ЗРК «Оса» автоматического обнаружителя-измерителя.

зенитный ракетный комплекс, первичный и вторичный радиолокаторы

Постановка проблемы и анализ литературы. Информационное обеспечение во многом определяет решение задач, стоящих перед зенитным ракетным комплексом (ЗРК) «Оса». Ручной съем информации оператором, а также кратковременность нахождения воздушных целей (ВЦ) в зоне видимости станции обнаружения целей (СОЦ) предъявляет жесткие требования к временным затратам, необходимые для решения задач, возложенных на СОЦ. К основным задачам СОЦ можно отнести:

- обнаружение и измерение координат ВЦ;
- определение возможности вхождения цели в зону действия огневых средств ЗРК;
- определение государственной принадлежности (ГП) обнаруженных целей;
- выдача координат целей на огневые средства ЗРК.

Решение указанных задач оператором осуществляется на основе информации СОЦ, образованной первичным радиолокационным каналом (работающим по эхо-сигналам) и вторичным радиолокационным каналом, образованным наземным запросчиком системы радиолокационного опознавания (РЛО). Участие оператора в решение этих задач существенным образом увеличивает временные затраты и, как следствие, снижает эффективность информационного обеспечения данного комплекса.

Переход на цифровую обработку сигналов в СОЦ и реализация аппаратуры первичной обработки информации (АПОИ) [1] позволяет перейти к алгоритмическому решению данных задач в специализированном вычислителе. Наличие в составе СОЦ первичного и вторичного каналов требует двух-

канального построения АПОИ [2], что предполагает объединение информации, выдаваемых первичным и вторичным каналами СОЦ, для исключения огневого воздействия по «своим» летательным аппаратам.

Цель работы – анализ показателей качества обнаружения и измерения координат ВЦ первичным и вторичным каналами СОЦ ЗРК «Оса».

Основная часть. Решение первой и второй задач базируется на работе первичного канала СОЦ. Первичный канала СОЦ по результату обработки пачки эхо-сигналов осуществляет обнаружение и измерение координат ВЦ. Это позволяет решить первую задачу. Измерение координат ВЦ хотя бы в двух периодах обзора позволяет решить вторую задачу, т.е. определить возможность вхождения рассматриваемой цели в зону огневого воздействия комплекса.

Третья задача решается путем включения наземного запросчика системы РЛО. АПОИ этого канала осуществляет обнаружение и измерение координат ВЦ по ответным сигналам. Измеренные координаты ВЦ первичным и вторичным каналами поступают в устройство объединения, где по результату сравнения координат формируется признак «своих» целей. При сравнении координат ВЦ, выдаваемых первичным и вторичным каналами АПОИ, координаты ВЦ на выход блока объединения не выдаются. При отсутствии такого сравнения, т.е. отсутствия координат ВЦ, выдаваемым вторичным каналом АПОИ, цель считается «чужой». В этом случае координаты ВЦ, полученные по первичному каналу, выдаются потребителю информации.

Автоматические обнаружители и измерители координат целей строятся, как правило, на анализе и обработке пачек принимаемых бинарно-квантованных сигналов [2]. В каждом из каналов АПОИ принимаемые сигналы после линейной обработки и детектирования сравниваются в пороговом устройстве с порогом. После обнаружения сигналов на дальнейшую обработку поступает реализация $x_i = 1$, если в элементе временного разрешения произошло превышение порога, или $x_i = 0$, если же в элементе временного разрешения не произошло превышения порога. Для принятия решения о наличии или отсутствии ВЦ в обнаружителе цели, обработке подвергается совокупность нулей и единиц, общим числом M . На основе этой обработки формируется отношение правдоподобия (ОП), которое сравнивается с цифровым порогом, выбранным в соответствии с допустимой вероятностью ложной тревоги. Функции правдоподобия для гипотез наличия (H_1) и отсутствия (H_0) сигнала во вторичном канале АПОИ, как имеющий более общий характер по отношению к первичному каналу АПОИ, можно записать в следующем виде:

$$L(x_i | H_1) = \prod_{i=1}^M (P_o P_{\text{сн}}(x_i))^{x_i} [1 - P_o P_{\text{сн}}(x_i)]^{1-x_i}; \quad (1)$$

$$L(x_i | H_0) = \prod_{i=1}^M P_{\text{п}}^{x_i}(x_i) [1 - P_{\text{п}}(x_i)]^{1-x_i}, \quad (2)$$

где P_o – коэффициент готовности (КГ) ответчика системы РЛО [3].

Используя (1) и (2), ОП можно записать как

$$l(x_i) = \frac{L(x_i | H_1)}{L(x_i | H_0)} = \prod_{i=1}^M \left(\frac{P_o P_{\text{сн}}(x_i)}{P_{\text{п}}(x_i)} \right)^{x_i} \left(\frac{1 - P_o P_{\text{сн}}(x_i)}{1 - P_{\text{п}}(x_i)} \right)^{1-x_i} \geq l_0. \quad (3)$$

Логарифмируя (3) и преобразуя полученный результат, получаем

$$\sum_{i=1}^M x_i \eta_i \geq C, \quad (4)$$

где

$$\eta_i = \ln \frac{P_o P_{\text{сн}}(x_i) [1 - P_o P_{\text{сн}}(x_i)]}{P_{\text{п}}(x_i) [1 - P_{\text{п}}(x_i)]}; \quad C = \ln l_0 - \sum_{i=1}^M \ln \frac{1 - P_o P_{\text{сн}}(x_i)}{1 - P_{\text{п}}(x_i)}.$$

Таким образом, алгоритм оптимального обнаружения воздушной цели вторичным каналом (4) сводится к суммированию весовых коэффициентов η_i , определяемых формой диаграммы направленности антенны вторичной РЛС и КГ самолетного ответчика, соответствующих позициям пачки, где $x_i = 1$. При $P_o = 1$ вышеизложенный алгоритм является алгоритмом обнаружения ВЦ первичным каналом АПОИ.

Если предположить, что $P_{\text{сн}}(x_i)$ одинакова в пределах всей ширины диаграммы направленности (пачка принимаемых сигналов имеет прямоугольную форму), то алгоритм (4) сводится к подсчету числа единиц в пределах ширины диаграммы направленности.

Получим расчетные выражения для показателей качества обнаружения ВЦ. Для вторичного канала вероятность прохождения импульсного ответного сигнала через дешифратор D_d , с учетом влияния КГ самолетного ответчика, можно определить как $D_d = P_o P_{11}^n$, где P_{11} – вероятность обнаружения одиночных сигналов.

Вероятность обнаружения ВЦ этим каналом можно записать как

$$D = \sum_{i=C}^M C_M^i (P_o P_{11}^n)^i (1 - P_o P_{11}^n)^{M-i}. \quad (5)$$

Положив $n = 1$ и $P_o = 1$, получаем расчетные соотношения для показателей качества обнаружения ВЦ первичным каналом АПОИ.

Результаты расчета вероятности обнаружения ВЦ первичным каналом АПОИ при $F=10^{-6}$ представлены на рис. 1. Как следует из представленных зависимостей, оптимальным порогом обнаружения ВЦ первичным каналом АПОИ является 11.

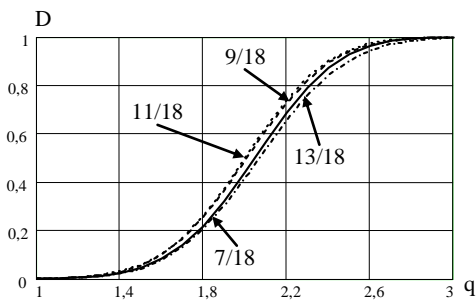


Рис. 1. Показатели качества обнаружения ВЦ первичным каналом СОЦ

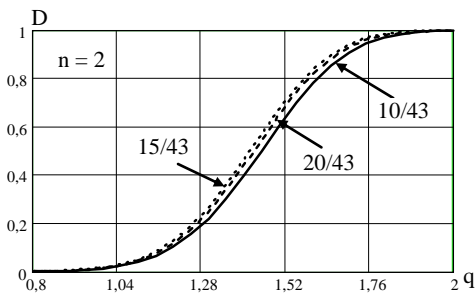


Рис. 2. Показатели качества обнаружения ВЦ системой РЛО СОЦ

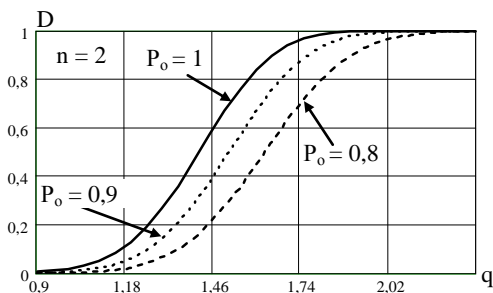


Рис. 3. Влияние КГ ответчика на качество обнаружения ВЦ

На рис. 2 представлены результаты расчета вероятности обнаружения воздушной цели вторичным каналом АПОИ. Как следует из представленных зависимостей, оптимальный цифровой порог обнаружения ВЦ вторичным каналом АПОИ равен 15.

На рис. 3 представлено влияние КГ самолетного ответчика на качество обнаружения ВЦ вторичным каналом. Анализ зависимостей, приведенных на рис. 3, показывает высокую зависимость вероятности обнаружения ВЦ вторичным радиолокатором от значения КГ ответчика. Так как повышения КГ можно достичь снижением внутрисистемных помех [3], то можно рекомендовать при модернизации СОЦ брать на сопровождение «свои» летательные аппараты.

С выхода обнаружителей сигналов первичного и вторичного каналов АПОИ последовательность нулей и единиц поступает на вход измерителя координат ВЦ соответствующего канала.

Измерение угловых координат, в частности азимута, осуществляется путем анализа пачки бинарно-квантованных импульсов. Дисперсию ошибки измерения азимута вторичным каналом

АПОИ можно оценить при помощи нижней границы Крамера-Рао, которая для рассматриваемого случая определяется в соответствии со следующим выражением [2]:

$$\frac{\sigma}{\Delta\beta} = \frac{\varphi^2 \exp(z_i^2/2)}{2\sqrt{2}z_o q_o P_o} \frac{1}{\left\{ \sum_{k=1}^{(M-1)/2} g^2(k) \exp(-q_k^2) k^2 I_1(z_i q_k) B_i \right\}^{1/2}},$$

где $B_i = \sum_{i=0}^n \frac{[P_{11}^{1-i}(k)P_{10}^{n-i-1}(k)(i-nP_{11}(k))]^2}{P_o P_{11}^i(k)P_{10}^{n-i}(k) + (1-P_o)P_{01}^i(1-P_{01})^{n-i}}$; φ – ширина диаграммы направленности антенны вторичного канала; z_i – порог обнаружения сигналов во вторичном канале; P_{10} – вероятность пропуска сигнала; P_{01} – вероятность ложного обнаружения сигнала; $\Delta\beta$ – угловое расстояние между зондированиями.

Положив $n = 1$ и $P_o = 1$, получаем расчетные соотношения для показателей качества измерения угловых координат первичного канала АПОИ.

Результаты расчета СКО измерения азимута первичным (I) и вторичным (II) каналами АПОИ представлены на рис. 4. Представленные зависимости показывают:

- существенное влияние КГ самолетного ответчика на точность измерения азимута вторичным каналом АПОИ;

- точность измерения азимута первичным каналом существенно выше точности измерения азимута вторичным каналом, что обусловлено значительной шириной диаграммы направленности антенны наземного запросчика системы РЛО.

Сравнение координат ВЦ, полученных первичным и вторичным каналами АПОИ, позволяет исключить огневое воздействие по «своим» целям.

Решение этой задачи основано на объединении оценок координат ВЦ, полученных по первичному каналу и вторичному каналу АПОИ. Если считать, что отклонения координат в первичном и вторичном каналах АПОИ независимыми и подчиняются нормальному распределению, то вероятность объединения отметок можно определить как

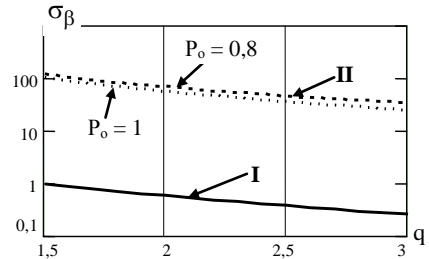


Рис. 4. Ошибки измерения азимута

$$P_{об} = \frac{1}{4} \left[1 + \Phi \left(\frac{\delta\theta}{\sqrt{2}\sqrt{\sigma_{\theta 1}^2 + \sigma_{\theta 2}^2}} \right) \right] \left[1 + \Phi \left(\frac{\delta r}{\sqrt{2}\sqrt{\sigma_{r 1}^2 + \sigma_{r 2}^2}} \right) \right],$$

где $\Phi(x)$ – интеграл вероятности; $\delta\theta$ и δr – меры разрешения по азимуту и дальности; $\sigma_{\theta 1}$ и $\sigma_{\theta 2}$ ($\sigma_{r 1}$ и $\sigma_{r 2}$) – ошибки определения азимута (дальности) первичного и вторичного каналов АПОИ соответственно.

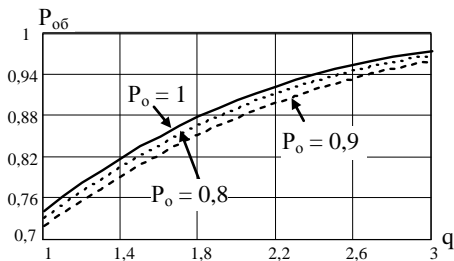


Рис. 5. Вероятность объединения отметок

Расчеты вероятности объединения оценок представлены на рис. 5. Представленные зависимости показывают существенное влияние КГ самолетного ответчика на вероятность исключения из огневого воздействия «своих» летательных аппаратов.

Выводы. Таким образом, модернизация СОЦ ЗРК «Оса» за счет введения в ее состав автоматического обнаружителя-измерителя координат ВЦ позволяет:

- автоматизировать процесс обнаружения, измерения координат и сопровождения воздушных целей;
- приблизить качество обнаружения и измерения координат к потенциально возможному;
- исключить оператора из процесса обнаружения, измерения координат ВЦ и анализа возможности вхождения ВЦ в зону действия огневых средств комплекса, что существенным образом снижает временные затраты на выполнение указанных операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аппаратура первичной обработки радиолокационной информации. Стандарт СЭВ 3201-81.* – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 17 с.
2. *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.
3. *Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации.* – М.: ЦНТИ, 1998. – 119 с.

Поступила 27.03.2006

Рецензент: доктор технических наук, доцент Г.В. Ермаков
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.