

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОНОМНОГО ПОИСКА ЦЕЛЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЛС МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗЕНИТНО-РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА СРЕДНЕЙ ДАЛЬНОСТИ

к.т.н. А.В. Савич, к.т.н. И.Г. Кириллов, к.т.н. С.И. Бурковский
(представил д.т.н., проф. В.И. Карпенко)

Предложен оптимальный алгоритм автономного поиска, учитывающий зависимость времени радиолокационного контакта с целью от характеристик радиолокационной станции (РЛС) и априорных характеристик цели. Он обеспечивает снижение времени поиска и допоиска целей в среднем в 2 раза.

Введение. При работе многоканальной РЛС с неподвижной фазированной антенной решеткой (ФАР) на прием и передачу и реализации электронного сканирования луча в широком диапазоне углов возникает необходимость решения задачи автономного поиска целей в достаточно широком секторе, достигающем размера в несколько тысяч квадратных градусов. В таком секторе потенциал РЛС является функцией угловых координат ε и β , характеризующей потери при отклонении луча от нормали к антенному полотну [1, 2]:

$$W = W_0 \cdot W(\varepsilon, \beta), \quad (1)$$

где W – значение потенциала РЛС для углового направления ε, β ; W_0 – значение потенциала РЛС на нормали к антенному полотну; $W(\varepsilon, \beta)$ – нормированная к W_0 функция распределения потенциала РЛС в диапазоне углов ε, β .

При определении размеров сектора автономного поиска цели в случае, если ее положение неизвестно, необходимо учитывать [3, 4]:

- априорное положение цели и возможную дальность ее обнаружения в зависимости от угла места;
- уменьшение коэффициента усиления антенны при увеличении угла отклонения от нормали ФАР (биссектриса сектора не изменяет своего положения).

Известно также, что на малых высотах (при малых углах места) на дальность обнаружения цели оказывает влияние подстилающая поверхность.

Следовательно, разработка соответствующего алгоритма автономного поиска, который сможет уменьшить как время поиска, так и до-

поиска воздушных объектов (ВО), является целесообразной.

Целью данной статьи является разработка оптимального алгоритма автономного поиска, учитывающего зависимость времени радиолокационного контакта с целью от характеристик РЛС и априорных характеристик воздушных объектов.

1. Учитывая, что радиус Земли значительно больше высоты $H_{ц}$ полета цели и высоты H_a антенны, можно записать [2]:

$$r_{\max} = -R_3 \sin \varepsilon_y + \sqrt{(R_3 \sin \varepsilon_y)^2 + 2R_3(H_{ц} - H_a)}, \quad (2)$$

где R_3 – эквивалентный радиус Земли; $H_{ц}$ – высота полета цели; H_a – географическая высота электрического центра антенного полотна; ε_y – угол укрытия.

Для случая малых углов укрытия

$$\varepsilon_y = \varepsilon_r,$$

где ε_r – угол горизонта.

Тогда

$$\sin \varepsilon_y = -\sqrt{\frac{2H_a}{R_3}} \quad (3)$$

и дальность прямой видимости $r_{пв}$ определяется из соотношения

$$r_{пв} = \sqrt{2R_3}(\sqrt{H_{ц}} + \sqrt{H_a}), \quad (4)$$

где $R_3 = \begin{cases} 6371 \text{ км} & \text{при нулевой рефракции;} \\ 8500 \text{ км} & \text{при нормальной рефракции.} \end{cases}$

Если значения высот заданы в метрах, то

$$\sqrt{2R_3} = \begin{cases} 3,57 \frac{\text{км}}{\sqrt{\text{м}}} & \text{при нулевой рефракции;} \\ 4,12 \frac{\text{км}}{\sqrt{\text{м}}} & \text{при нормальной рефракции.} \end{cases} \quad (5)$$

Нулевая рефракция характерна для оптического диапазона излучения, а нормальная – для радиолокационного, включая диапазон миллиметровых волн. Углы укрытия ε_y вычисляются по формуле

$$\varepsilon_y = \frac{H_y - H_a}{r_y} - \frac{r_y}{2R_3}, \quad (6)$$

где H_y – географическая высота укрытия; r_y – дальность до гребня укрытия.

Дальность сопровождения цели связана с эффективной отражающей поверхностью цели и характеристиками РЛС соотношением

$$r_{ac} = A_{РЛС} \sqrt[4]{S_3}, \quad (7)$$

где $A_{РЛС} = \sqrt[4]{\frac{P_{п} G_{п} G_{пр}^{ц} \lambda^2}{64 \pi^3 P_{ш}}} \left[\frac{\text{км}}{\sqrt{\text{М}}} \right]$ – константа, характеризующая кон-

кретную РЛС и режимы ее работы; S_3 – эффективная отражающая поверхность цели, $P_{п}$ – мощность передающего устройства; $G_{п}$ – коэффициент усиления передающей антенны; $G_{пр}^{ц}$ – коэффициент усиления приемной антенны в направлении на цель; λ – длина волны; $P_{ш}$ – мощность шума.

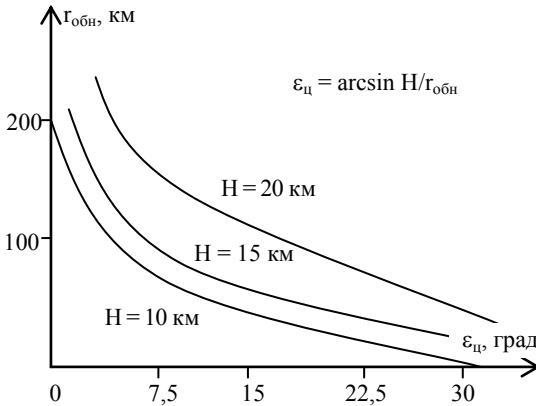


Рис. 1. Зависимость реализуемой дальности обнаружения от угла места цели

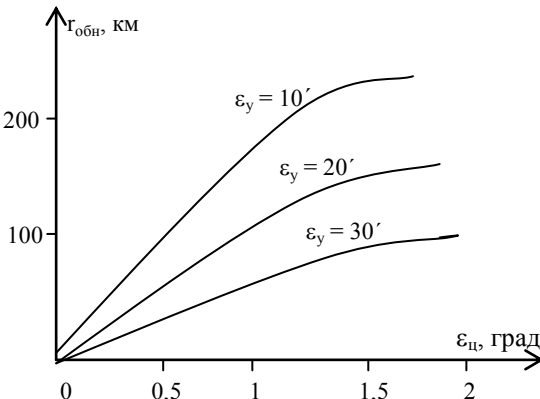


Рис. 2. Зависимость реализуемой дальности обнаружения от высоты полета цели и углов укрытия

2. Для многоканального ЗРК средней дальности типа С-300ПМУ1 величина $A_{РЛС}$ составляет порядка $150 \text{ км}/\sqrt{\text{М}}$. Оценим значения реализуемых дальностей обнаружения $r_{обн}$, а, следовательно, и энергетических затрат при больших углах места цели $\epsilon_{ц}$. Для примера в качестве цели используем типовой многоцелевой самолет с эффективной отражающей поверхностью $2,5 \text{ м}^2$, летящий на высотах H , близких к стратосферным. Кривые зависимости $r_{обн}$ от $\epsilon_{ц}$ с параметром семейства H приведены на рис. 1. Видно, что обнаружение целей при больших углах места осуществляется на сравнительно небольших дальностях и требует малых энергетических затрат.

3. Оценим распределение энергетических затрат при осуществлении

поиска цели на малых углах места. С этой целью, используя выражение (2), найдем зависимость реализуемой дальности обнаружения $r_{обн}$ от угла места цели $\epsilon_{ц}$ и следовательно от высоты ее полета $H_{ц}$. На рис. 2 приведено семейство кривых зависимости $r_{обн}$ от $\epsilon_{ц}$ с параметром ϵ_{γ} . Видно, что обнаружение целей на малых углах места осуществляется также на сравнительно малых дальностях и требует малых энергетических затрат.

Используя полученные соотношения и учитывая ограничения дальности действия из-за малой эффективной отражающей поверхности цели, в соответствии с выражением (7) построим общее распределение реализуемых дальностей обнаружения $r_{обн}$ в зависимости от угла места цели $\epsilon_{ц}$ (см. рис. 3), в качестве параметра семейства выступает угол укрытия ϵ_{γ} .

Видно, что реализуемая дальность обнаружения $r_{обн}$ в диапазоне реальных высот при поиске на малых и на больших углах места $\epsilon_{ц}$ снижается и максимальна на интервале $\epsilon_{ц} = 3 \div 7$ градусов.

Аппроксимируем полученную зависимость (7) с использованием функции вида $\cos x$. Отсюда,

$$r_{обн} = r_{max} \cos \frac{\epsilon_{ц} - \epsilon_{opt}}{\Delta\epsilon} \cdot \pi, \quad (8)$$

где ϵ_{opt} – оптимальный угол места цели, $\epsilon_{opt} = 1/2 \epsilon_{max}$; $\Delta\epsilon$ – разность углов, равная $\Delta\epsilon = \epsilon_{max} - \epsilon_{min}$.

Следовательно,

$$r_{обн} = r_{max} \cos \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{2\epsilon}{\epsilon_{max}} - 1 \right), \quad (9)$$

где

$$r_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_{п} G_{п} G_{пр}^2 \lambda^2 S_3}{64 \pi^3 P_{ш}}}. \quad (10)$$

Таким образом, при организации процесса поиска и допосиска целей необходимо учитывать априорные значения высот (или углов места) их

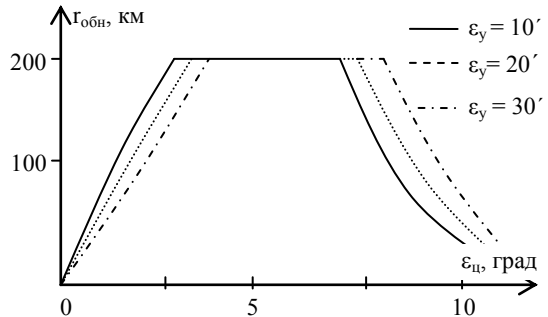


Рис. 3. Общее распределение реализуемых дальностей обнаружения в зависимости от угла места

движения, т.е. на малых и больших углах места снижать энергию зондирующего сигнала. Для реализации процесса поиска целей для каждого вида автономного поиска целесообразно задать априорные значения параметров цели, а также основные характеристики РЛС. Пример таких данных представлен в табл. 1 [2].

Таблица 1

Данные для задания параметров поиска целей многофункциональной РЛС

Характеристики РЛС	Априорные значения параметров ВО
$A_{РЛС}$ – энергетическая характеристика РЛС;	$H_{Ц}$ – высота полета цели;
$P_{ПО}$ – вероятность правильного обнаружения;	$V_{Ц}$ – скорость полета цели;
$P_{ЛТ}$ – вероятность ложной тревоги;	$P_{Ц}$ – параметр движения цели;
q – отношение сигнал/шум;	$S_{Э}$ – эффективная отражающая поверхность;
$\theta_{ДН(\epsilon, \beta)}$ – ширина диаграммы направленности;	$n_{РАСП}$ – возможные располагаемые перегрузки и т.д.
$T_{П}$ – минимальное время наблюдения в заданном положении;	
$\Delta\epsilon\Delta\beta$ – размер сектора автономного поиска;	
$T_{ПЕР}$ – время перестройки луча;	
$K_{ПЕР}$ – коэффициент перекрытия лучей;	
$m_{\epsilon(\beta)}$ – коэффициент расширения луча при отклонении от нормали	

4. Алгоритм осуществления автономного поиска, учитывающий зависимость времени радиолокационного контакта с целью от характеристик РЛС и априорных характеристик цели, приведен на рис. 4.

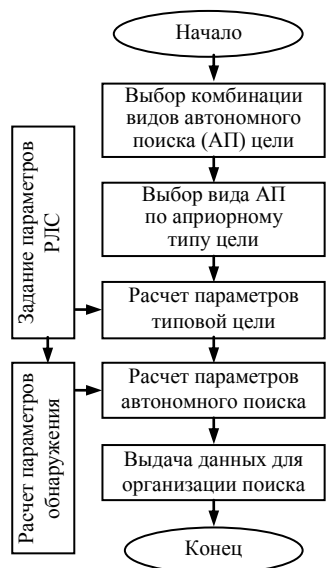


Рис. 4. Алгоритм проведения автономного поиска

Для оценки эффективности предложенного принципа автономного поиска цели

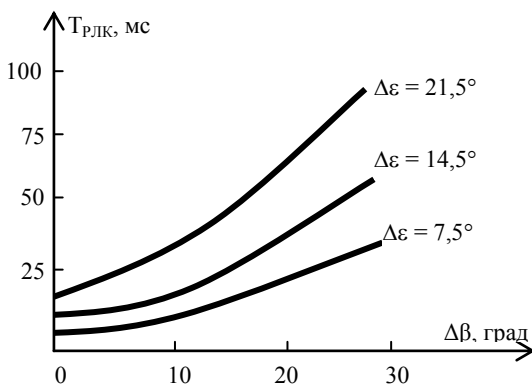


Рис. 5. Зависимость времени радиолокационного контакта с целью от углового положения луча при обнаружении многоцелевого самолета

многофункциональной РЛС получена расчетная зависимость времени $T_{\text{РЛК}}$ радиолокационного контакта (параметра поиска цели) от углового положения луча $\Delta\beta$ в секторе поиска РЛС при обнаружении типового многоцелевого самолета. На рис. 5 приведено семейство кривых зависимости времени $T_{\text{РЛК}}$ от $\Delta\beta$ с параметром $\Delta\epsilon$. Для проведения расчетов были выбраны следующие значения некоторых данных табл. 1:

$$S_{\text{Э}} = 2,5 \text{ м}^2; r_{\text{ОБН}} = 100 \text{ км}; q = 10 \text{ дБ}; A_{\text{РЛС}} = 100 \text{ км}/\sqrt{M}; \\ \theta_{\text{ДН}(\epsilon, \beta)} = 0,8^\circ; T_{\text{П}} = 666 \text{ мкс}; \Delta\epsilon \times \Delta\beta = 64^\circ \times 14^\circ.$$

Выводы. Таким образом, оптимальный алгоритм автономного поиска, учитывающий зависимость времени радиолокационного контакта с целью от характеристик РЛС и априорных характеристик целей, обеспечивает снижение времени поиска в среднем в 2 раза. Аналогичные результаты имеют место и при допоиске целей. При этом время радиолокационного контакта с целью зависит от относительных координат центра допоиска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головинский О.Б., Лавинский Г.В. *Поисковые системы*. – К.: Техніка, 1979. – 103 с.
2. Ковтуненко А.П., Шершнев Н.А. *Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения*. – Х.: ВИРТА ПВО, 1992. – 233 с.
3. Горбунов В.А. *Эффективность обнаружения целей*. – М.: Воениздат, 1980. – 160 с.
4. Шершнев Н.А., Савич А.В., Бурковский С.И. *Методика определения времени радиолокационного контакта при организации процесса поиска цели // Системы обработки информации*. – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 8 (36). – С. 190 – 194.

Поступила 10.09.2004

САВИЧ Андрей Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. Область научных интересов – радиолокационные средства зенитного ракетного вооружения.

КИРИЛЛОВ Игорь Германович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника НИО Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных интересов – цифровые средства адаптивной обработки сигналов в радиотехнических системах.

БУРКОВСКИЙ Сергей Иванович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИО Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных интересов – обработка сигналов в радиотехнических системах, вооружение войск ПВО.