

# ВОЕННЫЕ НАУКИ

## МЕТОДИКА РАСШИРЕНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ И ТРАСС ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Вергейчик Виталий Валентинович*  
Войсковая часть 09703  
г. Феодосия

## METHOD OF EXPANSION OF MUTUAL ARRANGEMENT OF CONTROL AND MEASURING PARAGRAPH AND ROUTES OF FLIGHT OF AIRCRAFTS

*Vergeichik Vitaly Valentinovich*  
army part 09703  
Feodosia

### Аннотация

Статья посвящена актуальному на сегодняшний день исследованию своевременного обнаружения малоразмерных воздушных и морских целей.

### Abstract

The article is devoted to the current study of the timely detection of small-sized air and sea targets

**Ключевые слова:** радиолокатор, обнаружение, сигнал, антенна.

**Keywords:** radar, detection, signal, antenna

### Введение

Современные технологии придали ускорение совершенствованию вооружения и военной техники, разработке высокоточного оружия. На вооружение ведущих стран мира поступают новейшие интегрированные комплексы высокоточного оружия [2].

При модернизации существующих и создании новых образцов кораблей и судов для ВМФ, у нас в стране и за рубежом вопросу обнаружения малоразмерных объектов уделяется значительное внимание.

1. Обоснование требований к дальности действия радиолиний траекторных измерений с активным маяком ответчиком.

Дальность действия радиолокационной станции определяется максимальным расстоянием между радиолокатором и объектом (целью), который должна обнаружить РЛС (рисунок 1).

Обнаружением называется процесс принятия решения о наличии или отсутствии радиолокационных сигналов в условиях помех. При обнаружении могут возникать следующие ситуации: при условии, что сигнал фактически есть, решение о наличии сигнала – правильное обнаружение, а решение об отсутствии сигнала – пропуск объекта или цели.

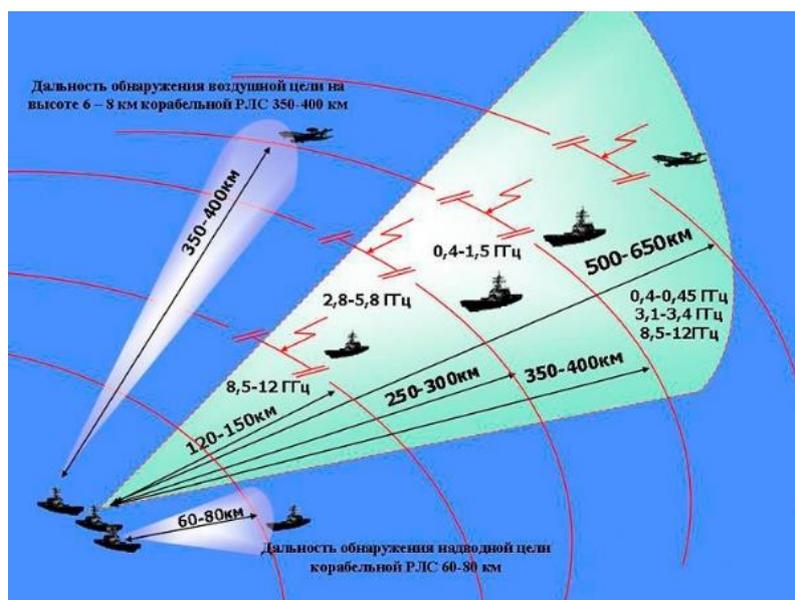


Рисунок 1 Дальности обнаружения РЛС и средствами РТР воздушных и надводных целей

1.1 Расчет зоны видимости РЛС в свободном пространстве

Зона видимости радиолокационной станции – это морская поверхность и воздушное пространство, в пределах которых возможно наблюдение целей и определение их координат с помощью радиолокационной станции. Форма и размеры зоны видимости радиолокационной станции определяются ее техническими возможностями, сектором обзора пространства, высотой антенны над уровнем моря и другими факторами [3].

Мощность сигнала отраженного от цели на входе приемника РЛС, как функцию от дальности до цели найдем исходя из основного уравнения радиолокации.

Одна из основных задач при проектировании РЛС - расчет максимальной дальности обнаружения, когда от цели с ЭПР  $\bar{S}_0$  принимается сигнал мощностью  $P_{20}$  при которой цель обнаруживается с заданными вероятностями правильного обнаружения  $D$  и ложной тревоги  $F$ , а элементы  $W$  характеризующие положение и движение объекта, измеряются с заданными точностью и вероятностью.

На входе приемника активного радиолокатора действует отраженный сигнал, мощность которого равна

$$P_{20} = \frac{P_1 G_{a1} \eta_1 S_{a2} \eta_2 \bar{S}_0}{(4\pi)^2 R^4}, \quad (1)$$

где:  $P_1$  – мощность передатчика;

$G_{a1}$  – коэффициент усиления передающей антенны;

$\eta_1$  и  $\eta_2$  – КПД антенно-фидерного тракта передатчика и приемника;

$S_{a2}$  – активная площадь приемной антенны;

$\bar{S}_0$  – ЭПР цели;  $R$  – расстояние от радиолокатора до цели.

С помощью выражения (1) можно найти дальность действия радиолокатора в свободном пространстве как при обнаружении цели, так и при измерении ее координат и скорости. При обнаружении цели ( $\bar{S}_0$ ) в (1) следует  $P_{20}$  заменить на  $(P_{2min})_{обн} = P_{пор}$ , где  $P_{пор}$  - пороговая мощность, то есть минимальная мощность сигнала на входе приемника, при которой принятый отраженный сигнал обнаруживается с заданными  $D$  и  $F$ . В режиме измерения следует вместо  $P_{20}$  использовать значение  $(P_{2min})_{изм}$ , при котором погрешность измерения не превышает заданного значения с определенной доверительной вероятностью. Как правило,  $(P_{2min})_{изм} > P_{пор}$  и в режиме измерения дальность действия радиолокатора оказывается меньше, чем в режиме обнаружения цели. С учетом сказанного дальность действия радиолокатора при обнаружении цели (максимальная дальность обнаружения или измерения) определяется как

$$R_{max0} = \sqrt[4]{\frac{P_1 G_{a1} G_{a2} \eta_1 \eta_2 \lambda^2 \bar{S}_0}{(4\pi)^3 P_{пор}}}, \quad (2)$$

или

$$R_{max0} = \sqrt[4]{\frac{P_1 S_{a1} S_{a2} \eta_1 \eta_2 \bar{S}_0}{4\pi \lambda^2 P_{пор}}}, \quad (3)$$

где учтено, что  $G_{a1} = 4\pi (S_a / \lambda^2)$ , а индекс «0» означает, что обнаружение происходит в свободном пространстве.

В частном случае, когда радиолокатор работает в импульсном режиме и одна и та же антенна используется как при излучении, так и при приеме сигналов, выражение (2) и (3) принимают вид

$$R_{max0} = \sqrt[4]{\frac{P_1 G_a^2 \eta^2 \lambda^2 \bar{S}_0}{(4\pi)^3 P_{пор}}},$$

$$R_{max0} = \sqrt[4]{\frac{P_1 S_a^2 \eta^2 \bar{S}_0}{4\pi \lambda^2 P_{пор}}}.$$

В активном радиолокаторе с активным ответом дальности действия ответчика ( $R_{maxот}$ ) и запросчика ( $R_{maxз}$ ) рассчитывают по формулам

$$R_{maxот} = \sqrt[4]{\frac{P_{1з} G_{a1з} G_{a2з} \eta_{1з} \eta_{2от} \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{пор.от}}}, \quad (4)$$

$$R_{maxз} = \sqrt[4]{\frac{P_{1от} G_{a1от} G_{a2з} \eta_{1от} \eta_{2з} \lambda^2}{(4\pi)^2 P_{пор.з}}}. \quad (5)$$

При  $R > R_{maxот}$  сигнал не может быть принят ответчиком, а при  $R > R_{maxз}$  - запросчиком. Поэтому целесообразен вариант активной системы с активным ответом, у которой  $R_{maxз} = R_{maxот}$ , для чего необходимо обеспечить равенство

$$P_{1з} P_{пор.з} \left[ \frac{G_{a1з} \eta_{1з}}{G_{a2з} \eta_{2з}} \right] = P_{1от} P_{пор.от} \left[ \frac{G_{a1от} \eta_{1от}}{G_{a2от} \eta_{2от}} \right],$$

а при работе в импульсном режиме (одна приемопередающая антенна на ответчике и одна на запросчике)

$$P_{1з} P_{пор.з} = P_{1от} P_{пор.от}.$$

Если радиолокатор, установленный на ЛА, имеет индикатор кругового или секторного обзора с яркостной отметкой, в котором яркость изображений на экране пропорциональна мощности то для правильного воспроизведения характера местности на экране индикатора ставится условие: изображение местности одного и того же вида ( $S_n = const$ ) вне зависимости от  $R$  и  $\beta$  при полете на постоянной высоте  $H$  должно иметь одинаковую яркость на экране индикатора, то есть при  $H = const$  необходимо обеспечить  $P_2 = const$ . Поскольку

$G_{a1} = G_{a2} = G(\alpha, \beta)G_0 f^2(\beta)$  и  $R=H(\sin\beta)^{-1}$  на основании (2)

$$P_2 = \frac{P_1 G_0^2 \eta_1 \eta_2 \lambda^2 \bar{S}_s (c\tau/2) \sin^4 \beta}{(4\pi)^3 H^3 \cos \beta} f^4(\beta) = \text{const}$$

Нормируя диаграмму направленности (в максимуме  $G_0 = 1$ ), получаем

$$f(\beta) = \text{cosec}\beta^4 \sqrt{\cos\beta} \approx \text{cosec}\beta.$$

Таким образом, для наилучшей наблюдаемости поверхности ракетный радиолокатор должен иметь диаграмму направленности косекансной формы (рисунок 2, 3).

В системе управления воздушным движением при обнаружении ЛА в верхней полусфере с



Рисунок 2 Диаграмма направленности антенны (азимутальная)

При отсутствии на объекте аппаратуры, излучающей сигнал, можно решить задачу обнаружения этого объекта по его радиотепловому излучению. Известно, что при отличии термодинамической температуры  $T_T$  объекта от абсолютного нуля он является источником излучения. Диапазон частот такого излучения простирается от нуля до бесконечности, а его интенсивность неравномерна в этом диапазоне и связана с температурой, формой, материалом и степенью шероховатости поверхности. Часть энергии при этом излучается в диапазоне радиоволн [4].

Интенсивность излучения задается формулой Планка:

$$J_f = 2c^{-1} \epsilon h f^3 \left[ \exp\left\{hf/kT_T\right\} - 1 \right]^{-1}, \quad (6)$$

где:  $h=6,26 \times 10^{-34}$  Вт $\times$ с<sup>2</sup> – постоянная Планка;  
 $k = 1,38 \times 10^{-23}$  ВтГц<sup>-1</sup>град<sup>-1</sup> – постоянная Больцмана;

$f$  – частота (Гц);

$\epsilon$  – степень черноты тела или излучательная способность.

Максимум излучения приходится на длину волны  $\lambda_m$ , значение которой в микрометрах определяется из соотношения Вина:  $\lambda_m =$

одинаковыми  $\bar{S}_0$  и  $H$  для улучшения наблюдаемости целей следует обеспечить одинаковую яркость отметок на экране индикатора, не зависящую от  $R$  и  $\beta$ . В этом случае диаграмма направленности должна иметь форму  $f(\beta) = \text{cosec}\beta$ .

Дальность обнаружения в пассивных РЛС. Когда принимается сигнал, излучаемый целью, дальность обнаружения зависит от чувствительности приемников пассивной РЛС (ПРЛС) и мощности сигнала, излучаемого целью.

В том случае, когда на объекте (цели) имеется передатчик, соотношения для определения  $R_{\text{max}}$  совпадают с выражением (4), полученным для ответчика.



Рисунок 3 Диаграмма направленности по углу места

$3 \times 10^3 / T_T$ . В диапазоне миллиметровых и сантиметровых волн справедливо неравенство  $hf \gg kT_T$ , поэтому экспоненту в знаменателе (6) можно разложить в степенной ряд и ограничиться двумя членами разложения, тогда (6) перейдет в соотношения вида

$$J_f \approx 2\epsilon k T_T \lambda^{-2}.$$

Зависимость (6) определяет интенсивность радиотеплового излучения и носит название формулы Рэля-Джинса. Формально она позволяет при расчетах пользоваться не интенсивностью (яркостью) излучения, а температурой объекта  $T_T$ .

С учетом степени черноты поверхности объекта вводят так называемую яркостную температуру  $T = \epsilon k T_T$ . Полное излучение тела складывается из двух компонентов: собственного радиоизлучения и переизлученных объектом радиоволн, попадающих на него извне. Для непрозрачных предметов излучательная способность  $\epsilon$  и коэффициент отражения  $K_{\text{отр}}$  связаны соотношением  $\epsilon + K_{\text{отр}} = 1$ , поэтому эффективная яркостная температура

$$T_{\text{эф}} = \epsilon T_T + K_{\text{отр}} T_B,$$

где:  $T_B$  – температура внешнего облучения.

При отсутствии внешнего облучения тела

$$T_B = 0, \text{ поэтому } T_{\text{эф}} = \varepsilon T_T = T_0$$

При одинаковой термодинамической температуре объектов их излучения различаются из-за разной излучательной способности  $\varepsilon$ , и обнаружение объектов возможно по контрасту излучений или яркостных температур

$$\Delta T = T_1 - T_2 = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) T_T$$

Если объект точечный, то есть угловой размер источника излучения  $\Phi_{\text{ц}}$  меньше ширины диаграммы  $\Phi_{\text{а}}$  антенны ПРЛС, а  $T(\alpha, \beta)$  – распределение эффективной температуры по углам  $\alpha$  и  $\beta$ , то температура антенны, согласованной с нагрузкой,

$$T_a = \Phi_{\text{а}}^{-1} \iint_{\alpha \beta} T(\alpha, \beta) f(\alpha, \beta) d\alpha d\beta \approx T \Phi_{\text{ц}} \Phi_{\text{а}}^{-1} = T K_{\text{л}}$$

где:  $f(\alpha, \beta)$  – диаграмма направленности антенны;

$K_{\text{л}}$  – коэффициент заполнения луча.

Для распределенных источников радиоизлучения  $K_{\text{л}} = 1$  и  $T_a = T$ . В этом случае необходимо учесть использование площади антенны (КПД антенны)  $K_{\text{а}}$ , КПД фидерного тракта  $\eta$  и собственные шумы антенно-фидерного тракта

$$T_a = T K_{\text{а}} \eta + T_0 (\eta - 1)$$

где:  $T_0$  – температура окружающей среды.

Кроме того, следует добавить составляющую  $T_0$ , соответствующую излучению, принятому по боковым лепесткам антенны  $T_0 = (1 - K_{\text{а}}) \eta$

Следовательно,

$$T_a = T K_{\text{а}} \eta + T_0 (1 - K_{\text{а}}) \eta + T_0 (\eta - 1).$$

Протяженные цели на границе раздела имеют контраст эквивалентных антенных температур, равный  $\Delta T_a = \eta K_{\text{а}} \Delta T$ . Для расчета контраста температуры точечных целей следует знать коэффициент заполнения луча антенны  $K_{\text{л}}$ , поэтому  $\Delta T_a = K_{\text{л}} \eta K_{\text{а}} \Delta T$ .

### Заключение

Необходимо удлинять трассы полета и увеличивать площадь районов испытаний. Основное препятствие: ограничения дальности траекторных и телеметрических измерений; влияние подстилающей поверхности на уровень и

качество принимаемого сигнала от изделия во время полета.

Факторы, влияющие на дальность обнаружения:

- интерференция в точке приёма прямого и переотражённого от подстилающей поверхности лучей; рефракция радиоволн;

- затухание радиоволн в атмосфере.

Влияние интерференции проявляется в изменении дальности обнаружения и неустойчивом обнаружении из-за интерференционных замираний сигналов, отражённых от маловысотных целей.

Траектория должна содержать данные, относящиеся к испытываемым изделиям и не содержать ложных отметок и данных, относящихся к другим объектам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горелик А.Л., Эпштейн С.С. Об адаптивности информации в задачах распознавания объектов и явлений. – М. «Кибернетика», 1983. – С.85-88.
2. Данилюк А.С., Кипа О.В., Сазонов К.В. Методика анализа телеметрии на основе оценивания их потенциальной информативности / А.С. Данилюк, О.В.Кипа, К.В. Сазонов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: труды XVII Всероссийской научно-практической конференции Т.4: ВМФ России. -СПб., 2014.-С.105-111.
3. Оптимальное правило остановки наблюдений способ достижения наивысшей вероятности обнаружения. Розов А.К., Сырцев А.Н., Кузина Н.В. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http:// cyberleninka.ru](http://cyberleninka.ru) »...-obnaruzheniya-signalov.
4. Принцип построения РЛС управления воздушным движением [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http:// refeteka.ru](http://refeteka.ru) | -206191-3.html (дата обращения 22.08.2017 г.).
5. Присяжнюк С.П., Сазонов К.В. Потенциальная информативность как новая характеристика отражения материального объекта // Информация и космос. – 2006. №2 – С.100-105.
6. Степанов Д.И. Пути рационального формирования оптимального наряда полигонных измерительных комплексов в модели обоснования ресурсов для обеспечения испытательных работ в полигонном комплексе МО РФ / Д.И. Степанов // Научно-технический сборник войсковой части 09882. Инв. № 1/6218, 2005 г. С.7-11.
7. Rissanen J.J., Langbon G.G. Universal modeling and coding. // IEE Transaction on Information Theory. – Vol. IT-27. № 1, 1981,p.12-23.