
Антенны, распространение радиоволн и техника СВЧ

Характеристики многолучевых РЛС охранного комплекса при работе в различных диапазонах излучения зондирующего сигнала

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

И.К. Антонов – к.т.н., директор по информационным технологиям, «Туроператор «Библио Глобус» (Москва)

E-mail: iantonov@complex-systems.biz

М.Н. Жуков – к.т.н., доцент, начальник отделения, гл. конструктор НТЦ, АО «Заслон» (Москва)

E-mail: amurskie@list.ru

А.А. Лавров – д.т.н., профессор, науч. сотрудник, ОАО «БАНС» (Москва)

E-mail: lavrovacad@gmail.com

Дана методика расчета потенциальных характеристик многолучевых РЛС охранного комплекса при работе в различных диапазонах зондирующего сигнала. Приведены примеры параметров и характеристик типовых РЛС.

Ключевые слова: многолучевой радиолокатор, охранные комплексы.

Method of calculating the potential characteristics of multibeam radar security complex when working in different ranges of the emitted signal. Examples of parameters and characteristics of the typical radar.

Keywords: multi-beam radar, surveillance systems.

Принципы построения, особенности технической реализации и методы расчета потенциальных характеристик многолучевых радиолокаторов при работе в составе охранных комплексов описаны в [1–4].

Цель работы – получить данные, помогающие ориентироваться в потенциальных характеристиках многолучевых РЛС различного диапазона излучения зондирующего сигнала. Эти локаторы объединяет общая главная и наиболее трудная задача – обнаружение малоскоростных малозаметных целей типа беспилотный летательный аппарат.

Выбор длины волны зондирующего сигнала является ключевым вопросом при формировании облика охранной многолучевой РЛС. Диапазон излучения оказывает решающее влияние на габаритные размеры радиолокатора, на выбор режимов работы и методов обзора пространства, на форму и параметры зондирующего сигнала, в конце концов, на стоимость системы.

Первым вопросом, возникающим при выборе диапазона излучения, является ожидаемое значение эффективной поверхности отражения (ЭПО) цели на этой длине волны. Достоверного ответа на этот вопрос, по мнению авторов, в настоящее время нет. Общая тенденция прогнозирует увеличение ЭПО цели при уменьшении длины волны зондирующего сигнала λ . В системах с длительным когерентным накоплением сигнала при узкополосной доплеровской фильтрации помеховых отражений для обоснованного выбора диапазона излучения необходимы комплексные экспериментальные исследования характеристик отражения целей в различных диапазонах.

Ввиду неопределенности в значениях ЭПО целей для удобства сравнения характеристик РЛС, работающих в разных диапазонах излучения, в дальнейшем принимаются одинаковые для всех вариантов расчетные значения ЭПО цели $\rho_{ц} = 0,1 \text{ м}^2$ и $\rho_{ц} = 0,01 \text{ м}^2$. Свойства РЛС для других значений ЭПО цели достаточно легко экстраполируются.

Полученные результаты не следует рассматривать как «сравнительные» для локаторов различных диапазонов, так как описанные в примерах радиолокаторы решают несколько отличающиеся тактические задачи и требования к их характеристикам различны.

Методика оценки потенциальных характеристик многолучевых РЛС

Характеристики обнаружения РЛС рассматриваются в свободном пространстве, без учета влияния отражений от земли. Такой подход основан на том, что в многолучевой РЛС, работающей в режиме обнаружения движущихся воздушных целей, при узкополосной доплеровской фильтрации сигналов помехи от фона почти полностью подавляются, при оценке потенциальных характеристик обнаружения ими можно пренебречь в любом рассматриваемом диапазоне излучения.

Расчет дальности действия выполняется без учета поглощения радиоволн на трассе распространения. Коррекция характеристик с учетом метеоусловий при необходимости выполняется известными методами. Однако необходимо учитывать, что чем короче длина волны, тем большее влияние на работу РЛС оказывают отражения от метеообразований, в изображении появляется большее число ложных отметок целей.

Характеристики антенн, фильтров сжатия сигналов и доплеровских фильтров вводятся без применения алгоритмов подавления боковых лепестков (без аподизации). В результате расчетов получаются потенциальные значения параметров, наилучшие из теоретически возможных – такой подход создает запас достоверности оценок, предусматривающий неизбежные непредвиденные потери в реальной аппаратуре.

Все описанные в примерах локаторы имеют неразрезанные приемные антенные решетки, элементы которых расположены с интервалом $d_{\text{за}} = \lambda/2$. Рассматривается вариант конструкции с цифровым формированием диаграммы направленности. Приводимые размеры антенн рассчитываются исходя из требуемой ширины ДН как «эффективные» по формуле $d_{\text{а}} = \lambda/\theta$, реальные размеры антенн могут быть несколько больше.

Рассмотрены варианты многолучевой РЛС, входящей в состав охранного комплекса, для трех диапазонов излучения зондирующего сигнала. Анализируются возможные методы обзора пространства, требования к функциональным узлам и потенциальные характеристики при решении одной тактической задачи – обнаружении малоразмерной малоскоростной воздушной цели. В результате формируется «базовый облик» РЛС для каждого диапазона излучения зондирующего сигнала, на основе которого, модифицируя режимы и параметры для решения конкретных тактических задач, создается окончательная архитектура радиолокатора.

Выбранные для примеров режимы работы и параметры «базовых обликов» РЛС приводятся без обоснования принятых решений – они не являются рекомендациями, а лишь материалом для сравнения потенциальных характеристик локаторов различного диапазона излучения при схожих параметрах системы радиолокационного наблюдения.

При описании параметров и характеристик РЛС различного диапазона принята едина я последовательность изложения:

1. Задаются размеры зоны постоянного обзора $\theta_{\text{zx}} \times \theta_{\text{zy}}$, параметры диаграммы направленности передающей антенны $\theta_{\text{zx}} \times \theta_{\text{zy}}$, размеры веера приемных диаграмм $\theta_{\text{zx}} \times \theta_{\text{ly}}$ и центрального луча в веере приемных ДН $\theta_{\text{zx}} \times \theta_{\text{ly}}$ (рис. 1).

Выбирается число позиций N при сканировании приемной и передающей диаграмм направленности в угломестной плоскости и ширина ДН в этих позициях θ_{yl} (рис. 2), задается время когерентного накопления принимаемого сигнала $T_{\text{с}}$.

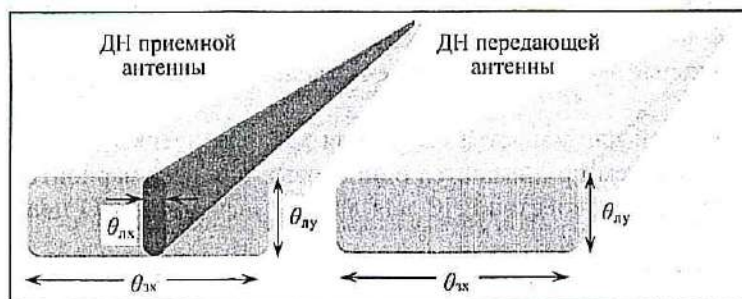


Рис. 1. Диаграммы направленности РЛС

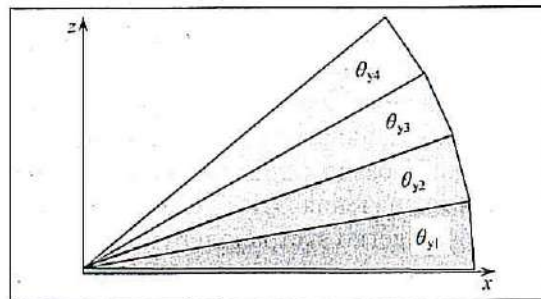


Рис. 2. Зоны обзора РЛС в угломестной плоскости

2. Исходя из выбранных параметров ДН рассчитываются время обзора заданной контролируемой зоны $T_{II} = NT_c$, определяются эффективные размеры приемной антенной решетки $d_x = \lambda / \theta_{\Delta x}$, $d_y = \lambda / \theta_{\Delta y}$, и эффективные размеры передающей антенны $d_{пх} = \lambda / \theta_{\Delta x}$, $d_{пy} = \lambda / \theta_{\Delta y}$ (рис. 3).

Рассчитываются число лучей в веере приемной диаграммы $K = \theta_{\Delta x} / \theta_{\Delta x}$ и требуемое число приемных антенных элементов и каналов усиления сигнала $K_n = 2d_x / \lambda$. Рассчитываются ДН приемного луча и диаграмма положения веера приемных лучей в зоне обзора.

3. Задаются параметры зондирующего сигнала (рис. 4): τ_{II} – длительность зондирующего импульса; T_{II} – период повторения зондирующих импульсов; M – коэффициент сжатия ЛЧМ-импульса; P_{cp} – средняя мощность излучения передатчика.

4. Рассчитываются характеристики зондирующего сигнала и соответствующие им тактические характеристики РЛС: $Q = T_{II} / \tau_{II}$ – скважность зондирующего сигнала; $P_{II} = QP_{cp}$ – импульсная мощность излучения; $F_{II} = 1 / T_{II}$ – частота повторения зондирующих импульсов; $R_{одн} = cT_{II} / 2$ – диапазон однозначного измерения дальности; $V_{одн} = \lambda F_{II} / 4$ – диапазон однозначного измерения скорости; $R_{сл} = c\tau_{II} / 2$ – протяженность слепой зоны; $\delta_R = c\tau_{II} / (2M)$ – разрешающая способность по дальности; $\Delta_f = 1 / T_c$ – ширина полосы пропускания доплеровского фильтра; $\Delta_V = \lambda \Delta_f / 2$ – разрешающая способность по скорости; $\Delta_f = M / \tau_{II}$ – ширина спектра излучаемого сигнала.

5. Рассчитывается распределение в зоне обзора линейной разрешающей способности по азимуту

$$\delta_{аз}(R, \theta) = \theta_{\Delta x}(\theta)R, \quad (1)$$

где θ – отклонение угла наблюдения зоны обзора от центральной оси.

6. Задаются характеристики приемного тракта: $k_{ш}$ – коэффициент шума одного модуля приемного тракта; α_p – коэффициент потерь мощности сигнала в приемном тракте.

Рассчитываются изменения дальности действия РЛС в пределах зоны обзора – она меняется за счет падения коэффициента направленного действия диаграмм направленности приемной антенны в веере к краям зоны. Дальность оценивается путем расчета отношения «сигнал / внутренний шум» по формуле, модифицированной из формулы дальности действия РЛС [5]:

$$q(R, \theta) = \frac{P_{cp} T_c S_{прм} S_{прд} \cos \theta_{\rho y}}{4\pi \lambda^2 k_T k_{ш} \alpha_p R^4 \sqrt{K_n}}, \quad (2)$$

где $S_{прм}$, $S_{прд}$ – рассчитываемые эффективные площади приемной и передающей антенн; $k_T = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц – спектральная плотность мощности шума.

Для визуализации на диаграмме дальности действия значениям $q < 10$ дБ присваивается значение $q = 0$.

Многолучевая РЛС при длине волны зондирующего сигнала $\lambda = 8$ мм

Для длины волны излучения $\lambda = 8$ мм характерно сильное ослабление сигнала при прохождении в атмосфере, особенно в плохих погодных условиях, что определяет потенциально невысокую дальность действия РЛС. Этот диапазон целесообразно применять, когда требуемый радиус охраняемой зоны не превышает 3...5 км, а также в системах управления оружием малой дальности, например, стрелковым.

1. *Метод обзора пространства.* Задаваемые параметры обзора и лучей ДН в режиме обнаружения воздушной цели (рис. 1 и 2): $\theta_{\Delta x} \times N\theta_{\Delta y} = 40^\circ \times 40^\circ$; $\theta_{\Delta y} = 10^\circ$; $\theta_{\Delta x} = 1^\circ$; $T_c = 0,1$ с.



Рис. 3. Параметры антенных систем для многолучевой РЛС

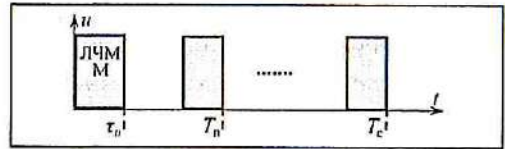


Рис. 4. Зондирующий сигнал на интервале когерентного накопления

В угломестной плоскости обе ДН, приемная и передающая, последовательно занимают четыре позиции с одинаковой шириной луча. Так как миллиметровая РЛС предназначена для работы на малых дальностях, в зондирующем сигнале не предусматривается излучение нескольких пачек зондирующего сигнала с разной частотой повторения в одной угломестной позиции для раскрытия неоднозначности дальности. Эта неоднозначность устраняется алгоритмами вторичной обработки при сопровождении цели. Общее время наблюдения четырех позиций составляет $T_H = 4T_c = 0,4$ с. С учетом переходных процессов в аппаратуре при переключении позиций время формирования одного кадра в зоне обзора достигает $T_H = 0,5$ с.

В дальнейшем для всех рассматриваемых РЛС анализируются и сравниваются характеристики только нижней зоны, наиболее трудной для обнаружения целей.

2. *Параметры антенны.* Технический облик РЛС определяется рассчитанными исходя из заданных диаграмм направленности и показанными на рис. 3 параметрами антенн: $d_x = 46$ см; $d_y = 5$ см; $d_{px} = 1$ см.

Передающая и приемная антенна являются конструктивно разделенными устройствами, которые могут быть объединены в одном блоке. Приемная антенна состоит из двух идентичных приемных модулей, каждый из которых включает $K_a = 58$ антенных элементов. Два модуля необходимы для сканирования в угломестной плоскости синхронно с передающей ФАР.

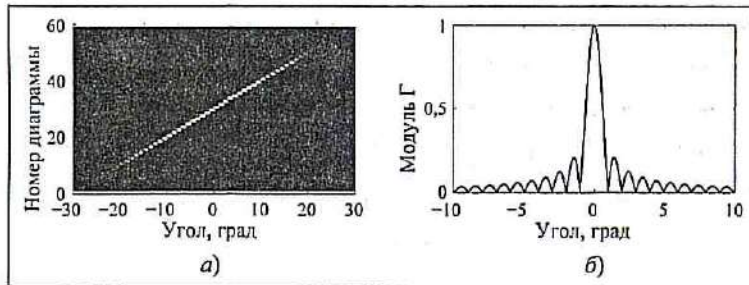


Рис. 5. Диаграммы направленности РЛС при $\lambda = 8$ мм: а – веер лучей; б – центральный луч

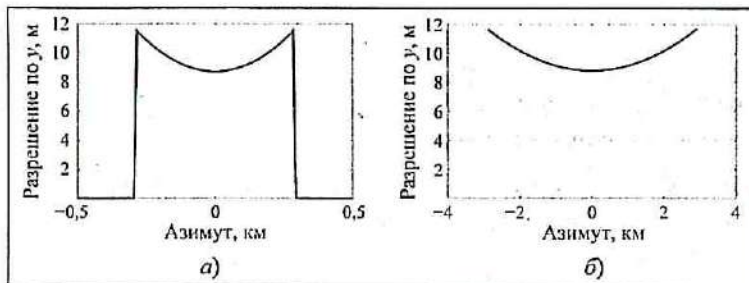


Рис. 6. Графики линейной разрешающей способности РЛС по азимуту при $\lambda = 8$ мм: а – на дальности $R = 500$ м; б – на дальности $R = 5000$ м

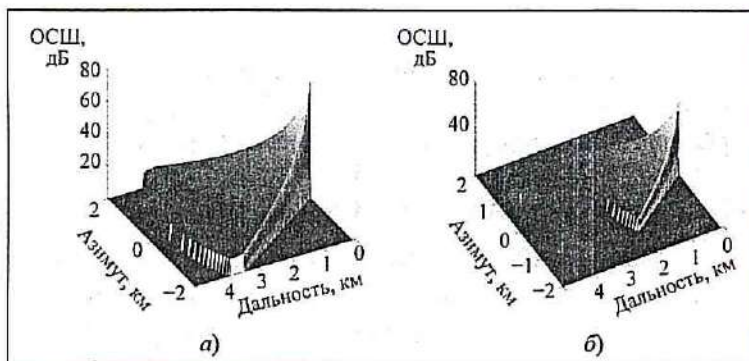


Рис. 7. Распределение значений отношения «сигнал/внутренний шум» в зоне обзора при $P_{cp} = 10$ Вт, $\lambda = 8$ мм при ЭПО цели $0,1$ м² (а) и $0,01$ м² (б)

Антенна формирует веер из $K = 40$ приемных лучей.

Диаграмма направленности веера приемных лучей и центрального луча в веере показаны на рис. 5.

3. *Форма и задаваемые параметры зондирующего сигнала* на одном периоде когерентного накопления (рис. 4): $\tau_H = 1$ мкс; $T_H = 34$ мкс; $M = 22,5$; $P_{cp} = 10$ Вт.

4. *Расчетные характеристики зондирующего сигнала и тактические характеристики РЛС:* $Q = 34$; $P_H = 340$ Вт; $F_H = 30$ кГц; $R_{одн} = 5$ км; $V_{одн} = 60$ м/с (216 км/ч); $R_{сл} = 150$ м; $\delta_R = 6,7$ м; $\Delta_f = 10$ Гц; $\Delta_V = 0,04$ м/с (0,14 км/ч); $\Delta_F = 22,5$ МГц.

5. *Разрешающая способность РЛС по азимуту* падает на краях зоны обзора, так как в антенне нет механического сканирования раскрывом. Зависимость линейной разрешающей способности от координат зоны обзора $\delta_{аз}(R, \theta)$ показана на рис. 6.

6. *Дальность действия РЛС* изменяется в пределах зоны обзора за счет падения коэффициента направленного действия диаграмм направленности антенн в веере к краям зоны.

Заданные характеристики приемного тракта: $k_{ш} = 4$ дБ; $\alpha_p = 5$ дБ.

На рис. 7 показаны распределения по зоне обзора отношения «сигнал /

внутренний шум» $q(R, \theta)$, рассчитанные для двух значений ЭПО целей и выраженные в децибелах. Для наглядности отображения дальности действия при значениях $q < 10$ дБ ему присваивается значение $q = 0$. Потенциальная дальность обнаружения цели при $\rho_{ц} = 0,1 \text{ м}^2$ немного меньше 5 км во всей зоне обзора. На дальности менее 2 км значения q превышают 25 дБ, что позволяет реализовать алгоритмы оценки параметров цели – дальности углов и скорости, работающие с точностью, достаточной для управления самонаводящимся и стрелковым оружием.

Многолучевая РЛС при длине волны зондирующего сигнала $\lambda = 3 \text{ см}$

Трехсантиметровый диапазон излучения для многолучевых РЛС в некотором смысле «универсален». С одной стороны, характер ослабления сигнала в метеообразованиях на трассе распространения позволяет создавать системы с относительно большой дальностью действия независимо от погодных условий. С другой стороны, при $\lambda = 3 \text{ см}$ возможно создание локаторов с компактными антенными системами, обеспечивающими высокое пространственное разрешение, что обеспечивает высокоточное управление оружием.

1. *Метод обзора пространства.* Задаваемые параметры обзора и лучей ДН в режиме обнаружения воздушной цели (рис. 1 и 2): $\theta_{\text{дх}} \times N\theta_{\text{дл}} = 90^\circ \times 90^\circ$; $\theta_{\text{дл}1} = 10^\circ$; $\theta_{\text{дл}2} = 30^\circ$; $\theta_{\text{дл}3} = 50^\circ$; $\theta_{\text{дх}} = 1^\circ$; $T_c = 0,2 \text{ с}$.

В угломестной плоскости обе ДН, приемная и передающая, последовательно занимают три позиции с разной шириной луча, самой узкой в нижней позиции. Расширение лучей ДН в верхних позициях позволяет сократить число позиций, необходимое для обзора всей зоны по вертикали, то есть сокращает время обзора. Расширение приводит к падению энергетического потенциала РЛС, вполне допустимому для верхних зон, так как в их пределах, при ограниченных высотах полета беспилотного летательного аппарата, максимально возможная дальность до целей относительно невелика.

Если трехсантиметровая РЛС предназначена для работы на средних дальностях, в зондирующем сигнале не предусматривается излучение нескольких пачек зондирующего сигнала с разной частотой повторения в одной угломестной позиции для раскрытия неоднозначности дальности. Эта неоднозначность устраняется алгоритмами вторичной обработки при сопровождении цели. Общее время наблюдения трех позиций в этом случае составляет $T_{\text{н}} = 3T_c = 0,6 \text{ с}$. С учетом переходных процессов в аппаратуре при переключении позиций время формирования одного кадра в зоне обзора достигает $T_{\text{н}} = 0,7 \text{ с}$.

2. *Параметры антенны.* Технический облик РЛС определяется рассчитанными исходя из заданных диаграмм направленности и показанными на рис. 3 параметрами антенн: $d_x = 172 \text{ см}$; $d_y = 17 \text{ см}$; $d_{\text{дх}} = 2 \text{ см}$.

Передающая и приемная антенна являются конструктивно разделенными устройствами, которые могут быть объединены в одном блоке. Приемная антенна состоит из двух идентичных приемных модулей, каждый из которых включает $K_a = 115$ антенных элементов. Два модуля необходимы для сканирования в угломестной плоскости синхронно с передающей ФАР. Антенна формирует веер из $K = 90$ приемных лучей. Диаграмма направленности веера приемных лучей и центрального луча в веере показаны на рис. 8.

3. *Форма и задаваемые параметры зондирующего сигнала* на одном периоде когерентного накопления (рис. 4): $\tau_{\text{н}} = 1,5 \text{ мкс}$; $T_{\text{н}} = 66,7 \text{ мкс}$; $M = 22,5$; $P_{\text{ср}} = 20 \text{ Вт}$.

4. *Расчетные характеристики зондирующего сигнала и тактические характеристики РЛС:* $Q = 45$; $P_{\text{н}} = 900 \text{ Вт}$; $F_{\text{н}} = 15 \text{ кГц}$; $R_{\text{одн}} = 10 \text{ км}$; $V_{\text{одн}} = 112 \text{ м/с}$ (405 км/ч); $R_{\text{сл}} = 225 \text{ м}$; $\delta_R = 10 \text{ м}$; $\Delta_f = 5 \text{ Гц}$; $\Delta_V = 0,08 \text{ м/с}$ (0,27 км/ч); $\Delta_f = 15 \text{ МГц}$.

5. *Разрешающая способность РЛС по азимуту* падает на краях зоны обзора, так как в антенне нет механического сканирования раскрывом. Зависимость линейной разрешающей способности от координат зоны обзора $\delta_{\text{аз}}(R, \theta)$ показана на рис. 9.

6. *Дальность действия РЛС* изменяется в пределах зоны обзора за счет падения коэффициента направленности диаграмм направленности антенн в веере к краям зоны.

Заданные характеристики приемного тракта: $k_{\text{ш}} = 4 \text{ дБ}$; $\alpha_p = 5 \text{ дБ}$.

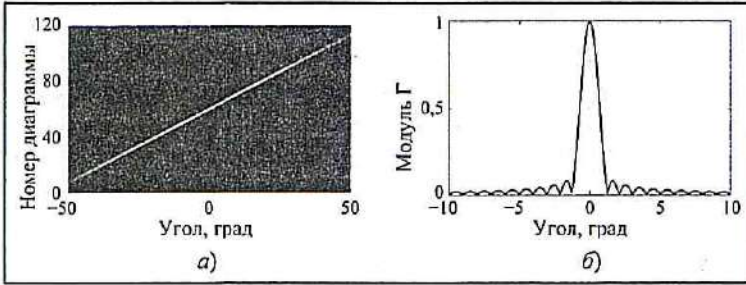


Рис. 8. Диаграммы направленности РЛС при $\lambda = 3$ см: а – все лучи; б – центральный луч

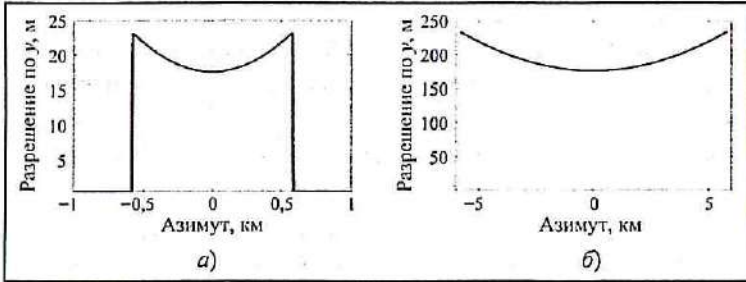


Рис. 9. Графики линейной разрешающей способности РЛС по азимуту при $\lambda = 3$ см: а – на дальности $R = 1000$ м; б – на дальности $R = 10000$ м

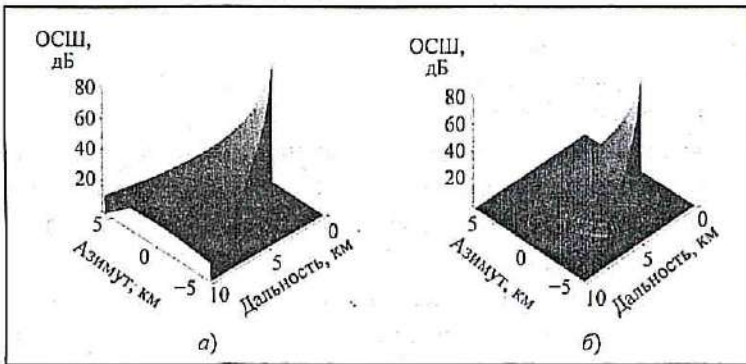


Рис. 10. Распределение значений отношения «сигнал/внутренний шум» в зоне обзора при $P_{ср} = 25$ Вт, $\lambda = 3$ см при ЭПО цели $0,1 \text{ м}^2$ (а) и $0,01 \text{ м}^2$ (б)

В угломестной плоскости обе ДН, приемная и передающая, последовательно занимают три позиции с разной шириной луча, самой узкой в нижней позиции. Расширение лучей ДН в верхних позициях позволяет сократить число позиций, необходимое для обзора всей зоны по вертикали, то есть сокращает время обзора. Расширение приводит к падению энергетического потенциала РЛС, вполне допустимому для верхних зон, так как в их пределах, при ограниченных высотах полета беспилотного летательного аппарата, максимально возможная дальность до целей относительно невелика.

Для обеспечения однозначного измерения дальности целей в нижней позиции наблюдения необходимо излучать две пачки зондирующих импульсов с разной частотой повторения, поэтому время обзора контролируемой зоны в одной угломестной позиции лучей ДН составляет $T_{и} = 2T_c = 0,4$ с. Общее время наблюдения трех позиций составляет $T_{и} = 6T_c = 1,2$ с. С учетом переходных процессов в аппаратуре при переключении позиций, время формирования одного кадра в зоне обзора достигает $T_{и} = 1,5$ с.

2. *Параметры антенн.* Технический облик РЛС определяется рассчитанными исходя из заданных диаграмм направленности и показанными на рис. 3 параметрами антенн: $d_x = 191$ см; $d_y = 57$ см; $d_{пх} = 6,4$ см.

На рис. 10 показаны распределения по зоне обзора отношения сигнал/внутренний шум $q(R, \theta)$, рассчитанные для двух значений ЭПО целей и выраженные в децибелах. Потенциальная дальность обнаружения воздушной цели при $\rho_{ц} = 0,1 \text{ м}^2$ превышает 10 км во всей зоне обзора. На дальности менее 5 км значения отношения сигнал/шум q превышают 25 дБ, что позволяет реализовать алгоритмы оценки параметров цели – дальности углов и скорости – работающие с точностью, достаточной для управления самонаводящимся и стрелковым оружием.

Многочувствительная РЛС при длине волны зондирующего сигнала $\lambda = 10$ см

Для длины волны излучения $\lambda = 10$ см ослабление сигнала при прохождении в атмосфере мало по сравнению с более коротковолновыми диапазонами, что обеспечивает потенциально более высокую дальность действия РЛС, особенно в плохих погодных условиях. Десятисантиметровый диапазон целесообразно применять, когда требуемый радиус охраняемой зоны относительно велик и достигает 20 км.

1. *Метод обзора пространства.* Задаваемые параметры обзора и лучей ДН в режиме обнаружения воздушной цели (рис. 1 и 2): $\theta_{дх} \times N\theta_{дл} = 90^\circ \times 90^\circ$; $\theta_{дл1} = 10^\circ$; $\theta_{дл2} = 30^\circ$; $\theta_{дл3} = 50^\circ$; $\theta_{дх} = 3^\circ$; $T_c = 0,2$ с.

Передающая и приемная антенна являются конструктивно разделенными устройствами, которые могут быть объединены в одном блоке. Приемная антенна состоит из двух идентичных приемных модулей, каждый из которых включает $K_a = 38$ антенных элементов. Два модуля необходимы для сканирования в угломестной плоскости синхронно с передающей ФАР. Антенна формирует веер из $K = 30$ приемных лучей.

Диаграмма направленности веера приемных лучей и центрального луча в веере показаны на рис. 11.

3. *Задаваемые параметры зондирующего сигнала* на одном периоде когерентного накопления (рис. 4): $\tau_{\text{и}} = 1,5$ мкс; $T_{\text{п}} = 66,7$ мкс; $M = 22,5$; $P_{\text{ср}} = 50$ Вт.

4. *Расчетные характеристики зондирующего сигнала и тактические характеристики РЛС*: $Q = 45$; $P_{\text{п}} = 2,25$ кВт; $F_{\text{п}} = 15$ кГц; $R_{\text{одн}} = 10$ км; $V_{\text{одн}} = 375$ м/с (1350 км/ч); $R_{\text{сн}} = 225$ м; $\delta_R = 10$ м; $\Delta_f = 5$ Гц; $\Delta_V = 0,25$ м/с (0,9 км/ч); $\Delta_F = 15$ МГц.

5. *Разрешающая способность РЛС по азимуту* падает на краях зоны обзора, так как в антенне нет механического сканирования раскрывом. Зависимость линейной разрешающей способности от координат зоны обзора $\delta_{\text{аз}}(R, \theta)$ показана на рис. 12.

6. *Дальность действия РЛС* изменяется в пределах зоны обзора за счет падения коэффициента направленного действия диаграмм направленности антенн в веере к краям зоны.

Заданные характеристики приемного тракта: $k_{\text{ш}} = 4$ дБ; $\alpha_{\text{р}} = 5$ дБ.

На рис. 13 показаны распределения по зоне обзора отношения «сигнал / внутренний шум» $q(R, \theta)$, рассчитанные для двух значений ЭПО цели и выраженные в децибелах. Потенциальная дальность обнаружения воздушной цели при $\rho_{\text{ц}} = 0,1$ м² превышает 20 км во всей зоне обзора. На дальности менее 10 км значения отношения сигнал/шум q превышают 25 дБ, что позволяет реализовать алгоритмы оценки параметров цели – дальности углов и скорости – работающие с точностью, достаточной для управления самонаводящимся и стрелковым оружием.

Сводные данные параметров и потенциальных характеристик многолучевых РЛС в различных диапазонах излучения приведены в таблице.

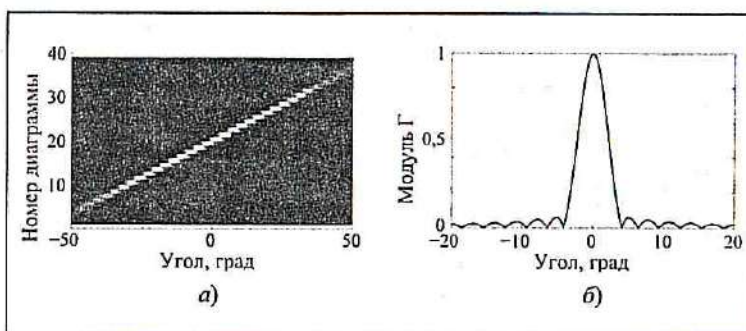


Рис. 11. Диаграммы направленности РЛС при $\lambda = 10$ см: а – веер лучей; б – центральный луч

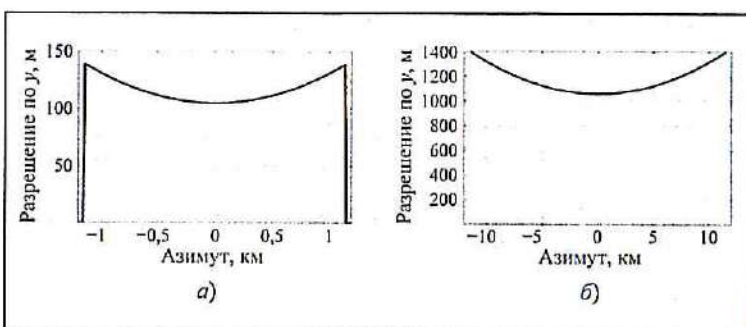


Рис. 12. Графики линейной разрешающей способности РЛС по азимуту при $\lambda = 10$ см: а – на дальности $R = 2000$ м; б – на дальности $R = 20000$ м

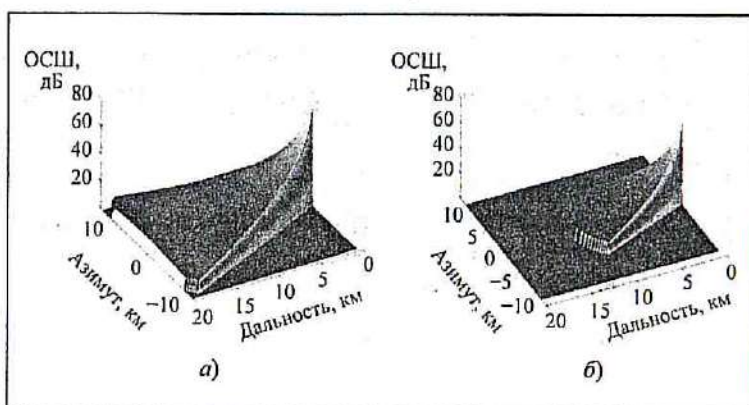


Рис. 13. Распределение значений отношения «сигнал/внутренний шум» в зоне обзора при $P_{\text{ср}} = 50$ Вт, $\lambda = 10$ см при ЭПО цели $0,1$ м² (а) и $0,01$ м² (б)

Таблица. Параметры и потенциальные характеристики многолучевых РЛС в различных диапазонах излучения

λ , см	d_x, d_y , м	K_a , шт	$P_{ср}; P_{имп}$, Вт	$\Theta_{обзх}; \Theta_{обзy}$, град	T_n , с	T_c , с	$R_{обн}$, км	δ_θ , м	δ_V , м/с
0,8	0,46; 0,05	58	10; 340	40; 40	0,5	0,1	5	120	0,04
3	1,72; 0,17	115	20; 900	90; 90	0,7	0,2	10	250	0,08
10	1,91; 0,57	38	50; 2250	90; 90	1,5	0,2	20	1400	0,25

П р и м е ч а н и я : λ – длина волны излучения зондирующего сигнала; d_x, d_y – размеры приемной ФАР; K_a – число антенных элементов в одном моноблоке; $P_{ср}/P_{имп}$ – средняя и импульсная излучаемые мощности; $\Theta_{обзх}/\Theta_{обзy}$ – размеры зоны постоянного обзора; T_n – время обзора зоны; T_c – время когерентного накопления сигнала; $R_{обн}$ – дальность обнаружения цели с ЭПО $0,1 \text{ м}^2$ на фоне внутреннего шума; δ_θ – линейная разрешающая способность по азимуту на максимальной дальности; δ_V – разрешающая способность по скорости.

- Полученные в результате проведенного анализа параметры и характеристики дают возможность для сравнения потенциальных характеристик локаторов различного диапазона излучения при схожих параметрах системы радиолокационного наблюдения.

Литература

1. *Weiß M., Gilles M.* Initial ARTINO Radar Experiments // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen. Germany.
2. *Klare J., Saalman O.* First Experimental Results with the Imaging Radar MIRA-CLE X // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen. Germany.
3. *Антонов И.К.* Структура и базовые характеристики многолучевого радиолокатора охранного комплекса // Антенны. 2017. № 3.
4. *Антонов И.К.* Потенциальные характеристики многолучевой РЛС в режиме обнаружения малоскоростных малозаметных целей // Успехи современной радиоэлектроники. 2017. № 3.
5. *Кондратенков Г.С., Лавров А.А. и др.* Авиационные системы радиовидения. М.: Радиотехника. 2015.

Поступила 22 декабря 2016 г.

Features multibeam radar security complex at work a probing signal different ranges of radiation

© Authors, 2017
© Radiotekhnika, 2017

I.K. Antonov – Ph. D. (Eng.), IT head, «Tour Operator «Biblio Globus» (Moscow)
E-mail: iantonov@complex-systems.biz

M.N. Zhukov – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of Department, Main Designer of STC, JSC «Zaslon» (Moscow)
E-mail: amurskie@list.ru

A.A. Lavrov – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Research Scientist, JSC «IANS» (Moscow)
E-mail: lavrovacad@gmail.com

The article presents material to take bearings in potential characteristics of multi-beam radars of different range of probing signal emission. These radars share a common goal – detection of low-speed stealth targets of unmanned aerial vehicle UVA type. Sample selected operation modes and radar parameters intended to compare radars of different emission range with similar parameters of radar surveillance systems.

The study presents radar detection characteristics "in free space" regardless ground scattering effect. The article considers versions of a multi-beam radar for three different ranges of emission signal. The article analyzes possible space surveillance methods, radar angular pattern parameters and general requirements for radar functional units.

The article contains a summary table of multi-beam radars parameters and characteristics.

References

1. *Weiß M., Gilles M.* Initial ARTINO Radar Experiments // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen. Germany.
2. *Klare J., Saalman O.* First Experimental Results with the Imaging Radar MIRA-CLE X // EUSAR 2010. Eurogress. Aachen. Germany.
3. *Antonov I.K.* Struktura i bazovye karakteristiki mnogoluchevogo radiolokatora ohrannogo kompleksa // Antenny'. 2017. № 3.
4. *Antonov I.K.* Potencial'ny'e karakteristiki mnogoluchevoj RLS v rezhime obnaruzheniya maloskorostny'x malozametny'x czelej // Uspexi sovremennoj radioelektroniki. 2017. № 3.
5. *Kondratenkov G.S., Lavrov A.A. i dr.* Aviacionnye sistemy' radiovideniya. M.: Radlotekhnika. 2015.