

УДК 621.396.96

А. Е. ОХРИМЕНКО

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ В СКРЫТЫХ ПОЛУАКТИВНЫХ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПОСТОРОННИМ ПОДСВЕТОМ

Научно-производственное частное унитарное предприятие «НТЛаб – системы»

(Поступила в редакцию 28.09.2013)

Опыт эксплуатации и применения активных радиолокационных систем (АРЛС) с совмещенными по пространству передающим и приемным устройствами показал их главные недостатки системного характера: отсутствие скрытности, плохая помехоустойчивость в отношении преднамеренных и непреднамеренных помех (мешающих излучений и отражений) и как следствие низкая живучесть. Скрытность достигается применением активно-пассивных многопозиционных радиолокационных систем [1–3], которые всегда могут быть представлены сочетанием нескольких бистатических полуактивных РЛС (ПА РЛС) с посторонним подсветом или бистатических пассивных РЛС (ПРЛС), использующих собственное радиоизлучение целей [4]. Скрытность полностью или частично снимает проблему помехоустойчивости ПА РЛС: преднамеренные помехи отсутствуют из-за невозможности ведения радиоразведки, непреднамеренные мешающие излучения от посторонних источников во многом преодолеваются благодаря их электродинамическому экранированию земной поверхностью и пространственной когерентной автокомпенсации. Мешающие отражения должны существенно снижаться из-за значительного рассовмещения приемной позиции и источников подсвета [5]. ПРЛС, использующие разностно-дальномерный метод определения местоположения целей, в режиме их радиомолчания становятся неработоспособными, т.е. полностью утрачивают эффективность и поэтому являются бесперспективными.

Постановка и методика решения задачи. В бистатической ПА РЛС приемная позиция в интересах электродинамического экранирования сигнала подсвета, принимаемого по боковым лепесткам диаграммы направленности приемной антенны в качестве мешающего излучения, должна располагаться от него на расстоянии, большем дальности радиогоризонта относительно источника подсвета: $r_{\text{рг подсв}} = \sqrt{2R_{\text{з}}H_{\text{подсв}}}$, где $R_{\text{з}} = 8500$ км – эквивалентный радиус Земли с учетом рефракции радиоволн, $H_{\text{подсв}}$ – высота антенны источника подсвета. Это необходимо для того, чтобы фазовый центр приемной антенны располагался ниже радиогоризонта, т.е. находился по отношению к источнику излучения (подсвета) в области тени, а фазовые центры антенн опорных (компенсационных) каналов, необходимых для формирования опорных сигналов многоканальных матричных корреляторов и многоканальных пространственных когерентных автокомпенсаторов, располагались выше радиогоризонта, т.е. находились по отношению к источнику излучения (подсвета) в области света (рис. 1). При этом прямой сигнал, принимаемый по боковым лепесткам диаграммы направленности (ДН) приемной антенны, проходит от источника подсвета первую часть пути в свободном пространстве $r_{\text{св}} = r_{\text{рг подсв}}$, а вторую часть – в области тени $r_{\text{тени}} : r_{\text{пр.сигн}} = r_{\text{св}} + r_{\text{тени}}$. В свободном пространстве плотность потока мощности убывает обратно пропорционально квадрату расстояния $P_{\text{св}} \sim \frac{1}{r_{\text{св}}^2}$, а в области тени она убывает обрат-

но пропорционально четвертой степени расстояния [6]: $\Pi_{\text{тени}} \sim \frac{1}{\chi_2 r_{\text{тени}}^4}$. Объединяя обе закономерности, представляем плотность потока мощности мешающего прямого сигнала у раскрыва приемной антенны в следующем виде:

$$\Pi_{\text{меш.изл}} = \frac{P_{\text{подсв}} G_{\text{подсв}}}{4\pi \left(r_{\text{рг подсв}}^2 + 2r_{\text{рг подсв}} \chi_1 r_{\text{тени}}^2 + \chi_2 r_{\text{тени}}^4 \right)},$$

где $P_{\text{подсв}}, G_{\text{подсв}}$ – мощность и коэффициент усиления антенны источника подсвета, $\chi_1 = \frac{1}{M}$, $\chi_2 = \frac{1}{M^2}$ – нормирующие сомножители для упорядочения размерности слагаемых.

Эффективность электродинамического экранирования можно оценить, сопоставляя плотность потока мощности мешающего излучения в области света на дальности радиогоризонта

$$\Pi_{\text{меш.изл.света}} = \frac{P_{\text{подсв}} G_{\text{подсв}}}{4\pi r_{\text{рг подсв}}^2} \text{ и в области тени } \Pi_{\text{меш.изл.тени}} \approx \frac{P_{\text{подсв}} G_{\text{подсв}}}{4\pi \chi_2 r_{\text{тени подсв}}^4}, \text{ если } \chi_2 r_{\text{тени подсв}}^4 \gg 2\chi_1 r_{\text{тени}}^2 r_{\text{рг подсв}} \gg r_{\text{рг подсв}}^2.$$

$$v_{\text{экр}} = \frac{\Pi_{\text{меш.изл.света}}}{\Pi_{\text{меш.изл.тени}}} = \frac{\chi_2 r_{\text{тени подсв}}^4}{r_{\text{рг подсв}}^2},$$

откуда область тени для достижения требуемой эффективности электродинамического экранирования $v_{\text{экр}}$

$$r_{\text{тени}} = \sqrt[4]{\frac{r_{\text{рг подсв}}^2 v_{\text{экр}}}{\chi_2}} = \sqrt[4]{\frac{2R_{3\text{э}} H_{\text{подсв}} v_{\text{экр}}}{\chi_2}}.$$

При требуемой эффективности $v_{\text{экр}} = 40$ дБ и высоте источника подсвета $h_{\text{подсв}} = 100$ м дальность до радиогоризонта от источника подсвета $r_{\text{рг подсв}} = \sqrt{2R_{3\text{э}} H_{\text{подсв}}} = 41$ км, протяженность области тени $r_{\text{тени подсв}} = 2$ км, а глубина погружения фазового центра антенны в область тени $\Delta h_a = \frac{r_{\text{тени}}^2}{2R_{3\text{э}}} = 24$ см.

Такая резкая граница между областью света и тени была экспериментально подтверждена при испытаниях скрытной полуактивной РЛС с телевизионным подсветом белорусским научно-производственным государственным предприятием НПП «Алевкурп» 10.09.1999 [7].

Решение задачи и выводы. Согласно рис. 2, мощность мешающих отражений есть результат суммирования мощностей от участков равноудаленных отражателей в области света относительно приемной антенны. При этом радиальная плотность мощности мешающих отражений, принимаемых по главному и боковым лепесткам ДН приемной антенны:

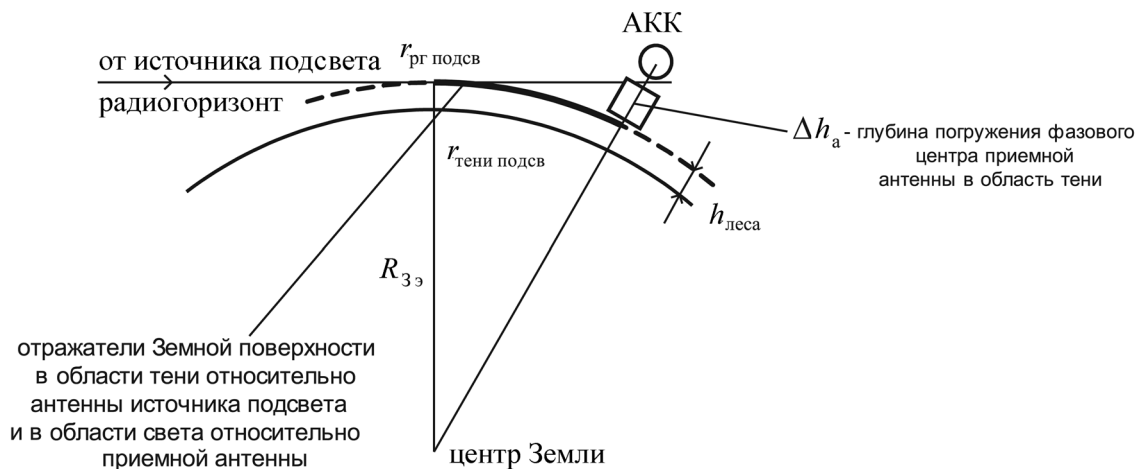


Рис. 1. Пояснение размещения антенн компенсационных каналов (АКК) в области света и приемной антенны в области тени относительно источника подсвета

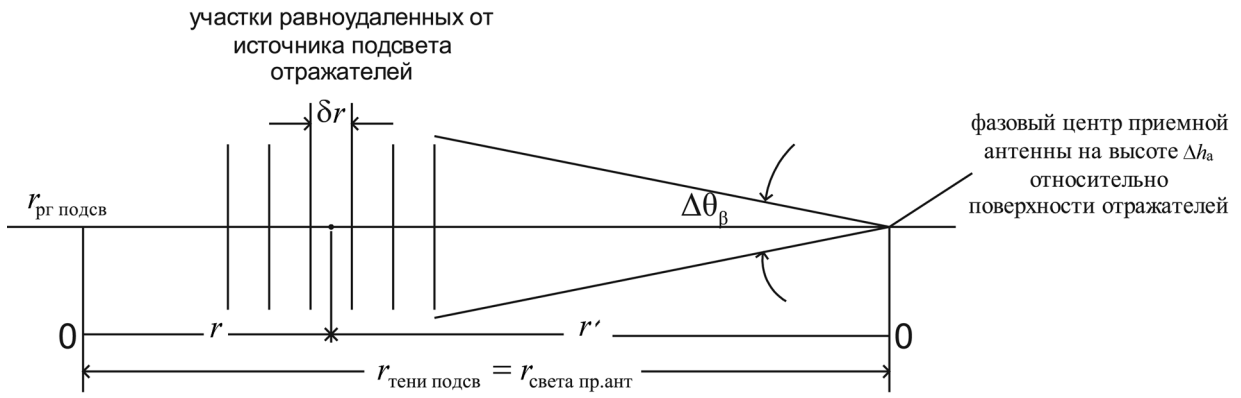


Рис. 2. Пояснение сбора мощности от участков равноудаленных отражателей в области света относительно приемной антенны

$$\rho(r') = \frac{P_{\text{подств}} G_{\text{подств}}}{4\pi\chi_2 r_{\text{тени подств}}^4} \alpha_s S_a \frac{[\Delta\theta_\beta + (2\pi - \Delta\theta_\beta)\eta_{\text{бок}}] r' \delta r}{4\pi[(r')^2 - (\Delta h_a)^2] \delta r},$$

где α_s – удельная поверхность рассеяния области отражателей, S_a – эффективная площадь раскрытия приемной антенны, $\Delta\theta_\beta$ – ширина главного лепестка ДН приемной антенны в азимутальной плоскости, $\eta_{\text{бок}}$ – уровень боковых лепестков ДН приемной антенны, а мощность мешающих отражений

$$\sigma_{\text{меш.отр.}}^2 = \int_{r'_{\text{min}}}^{r'_{\text{max}}} A \rho(r') dr', \quad r'_{\text{min}} = 0, \quad r'_{\text{max}} = r_{\text{ра}} = \sqrt{2R_{3\text{э}} \Delta h_a},$$

где $A = \frac{P_{\text{подств}} G_{\text{подств}}}{4\pi\chi_2 r_{\text{тени подств}}^4} \alpha_s S_a \frac{[\Delta\theta_\beta + (2\pi - \Delta\theta_\beta)\eta_{\text{бок}}]}{4\pi}$.

Используя формулы (2.124.2) и (2.124.1) [8], находим $\sigma_{\text{меш.отр.}}^2 = A \ln \sqrt{\frac{2R_{3\text{э}}}{\Delta h_a}}$. При этом спектральная плотность мешающих отражений

$$N_{\text{меш.отр}} = \frac{\sigma_{\text{меш.отр.}}^2}{\Delta f_0},$$

где Δf_0 – ширина спектра закона модуляции сигнала подсвета, определяющая ширину спектра мешающих отражений. Таким образом, для скрытной полуактивной РЛС с цифровым телевизионным сигналом подсвета [9] ($P_{\text{подств}} = 1$ кВт, $\Delta\theta_\beta = 15^\circ$, $G_{\text{подств}} = 8$, $\alpha_s = 10^{-4}$, $S_a = 2$ м², $r_{\text{тени подств}} = 2$ км) спектральная плотность мешающих отражений составляет $N_{\text{меш.отр}} \approx 4 \cdot 10^{-22}$ Вт/Гц, т. е. оказывается на порядок меньше спектральной плотности собственных шумов приемника $N_0 = 6,2 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц (при коэффициенте шума $k_{\text{ш}} = 2$, исключая необходимость использования криогенной техники).

Такой результат является следствием большого рассовмещения источника подсвета и приемной антенны. В АРЛС мешающие отражения собираются от близкорасположенных от приемной антенны участков местности, подсвечиваемых расположенным рядом передающим устройством. Поэтому спектральная плотность мешающих отражений на несколько порядков оказывается больше спектральной плотности собственных шумов и решение задач радиолокационного наблюдения (обнаружения, распознавания, измерения) с требуемыми высокими показателями невозможно.

Литература

1. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Мн., 1978.
2. Ширман Я.Д. и др. Справочник «Радиоэлектронные системы» (основы построения и теории). М., 2007.
3. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М., 1993.

4. *Охрименко А.Е.* Основы обработки и передачи информации. Мн., 1990.
5. *Охрименко А.Е.* Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. М., 1983.
6. *Бартон Д.* Радиолокационные системы, М., 1967.
7. *Охрименко А.Е.* Первенец белорусской радиолокации – скрытный радар «Поле». Мн., 2005.
8. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., 1963
9. *Семашко П.Г., Охрименко А.Е.* // Докл. НАН Беларуси. 2005. Т. 49, № 6. С. 37–41.

A. E. OKHRIMENKO

**A SPECTRAL DENSITY OF JITTER BACKGROUND RETURNS
IN CONVERT SEMI-ACTIVE MULTIPLE POSITION RADARS WITH EXTERNAL ILLUMINATION**

Summary

A spectral density of jitter background returns in convert semi-active multiple position radars based on signals of digital television broadcasting is described.