

УДК 621.396.96

Расчет рабочей зоны многопозиционной радиолокационной системы по стороннему источнику подсвета

Лешко Н.А.^{1*}, Ашурков И.С.^{2}**

¹*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, ВКА имени А.Ф.Можайского,
Ждановская набережная, 13, Санкт-Петербург, 197082, Россия*

²*Филиал Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, ВКА имени
А.Ф. Можайского, Московский проспект, 28, Ярославль, 150001, Россия*

**e-mail: nikolai_zru@mail.ru*

***e-mail: ivan_ashurkov@mail.ru*

Аннотация

Статья посвящена разработке методического подхода к оценке возможности использования сторонней РЛС в качестве источника подсвета для многопозиционной системы в условиях отсутствия априорных сведений о координатах источника подсвета. Авторами предложено определять координаты источника подсвета пассивными радиолокационными средствами, входящими в многопозиционную систему, рассчитывать рабочую зону пассивных средств как пересечение зоны обнаружения и зоны местоопределения и проверять принадлежность координат источника подсвета рабочей зоне.

Ключевые слова: зона местоопределения, зона обнаружения, рабочая зона, многопозиционная радиолокационная система, некооперируемый сторонний источник подсвета.

Введение. Объединение активных радиолокационных станций (РЛС), систем пассивной радиолокации и полуактивных РЛС, принимающих сигналы кооперируемых и некооперируемых сторонних источников подсвета, в многопозиционную систему[1] является одним из перспективных направлений совершенствования системы получения информации о воздушной обстановке.

В настоящее время полуактивные РЛС используются как для исследования и мониторинга различных природных сред, так и для радиолокационного обнаружения воздушных объектов. Для этих целей в качестве кооперируемых источников подсвета применяются передатчики систем телевидения, радиовещания, мобильных телефонных сетей и др. [2]. Некооперируемыми источниками подсвета могут выступать РЛС самолетов дальнего радиолокационного обнаружения и управления, наземные РЛС ПВО, корабельные РЛС. Их сигналы, как прямые, так и отраженные от воздушных объектов, можно принимать специальными техническими устройствами, входящими в состав многопозиционной радиолокационной системы (МП РЛС), и по ним определять координаты воздушных объектов. С помощью пассивных элементов многопозиционной системы можно определять координаты источника подсвета. Рабочая зона МП РЛС с такой структурой зависит от точки стояния или траектории

движения носителя источника подсвета. Она может быть определена после того как рассчитаны энергетические и точностные возможности использования его сигналов для радиолокационного подсвета.

Постановка задачи. Целью работы является выработка методического подхода к оценке потенциальной возможности использования передатчика сторонней РЛС в качестве источника подсвета для МП РЛС.

Описание методики. Оценить возможности радиолокационных средств по ведению разведки можно по размерам и положению рабочей зоны, представляющей собой область пространства, в пределах которой радиолокационные цели с заданной эффективной поверхностью рассеяния обнаруживаются с вероятностью не менее заданной, а точность определения местоположения целей не хуже требуемой.

Оценке рабочей зоны МП РЛС посвящен ряд работ [3, 4]. Однако при использовании некооперируемого (а в ряде случаев и кооперируемого) передатчика эта задача имеет ряд особенностей, связанный с априорно неизвестным местоположением источника излучения, что вызывает необходимость рассчитывать рабочую зону по источнику подсвета – область пространства, в пределах которой источник подсвета с заданными характеристиками обнаруживается с вероятностью и точностью не менее заданных.

Предложенная методика построения рабочей зоны МП РЛС по источнику

подсвета приведена на рисунке 1.

Исходными данными являются: количество приемных позиций N в МП РЛС, их координаты в сферической системе, метод измерения координат источника подсвета, ошибки измерения первичных параметров λ , характеристики источника подсвета и приемных устройств. В работе ограничимся двумя наиболее часто применяющимися в системах пассивной радиолокации позиционными методами: угломерным и разностно-дальномерным.

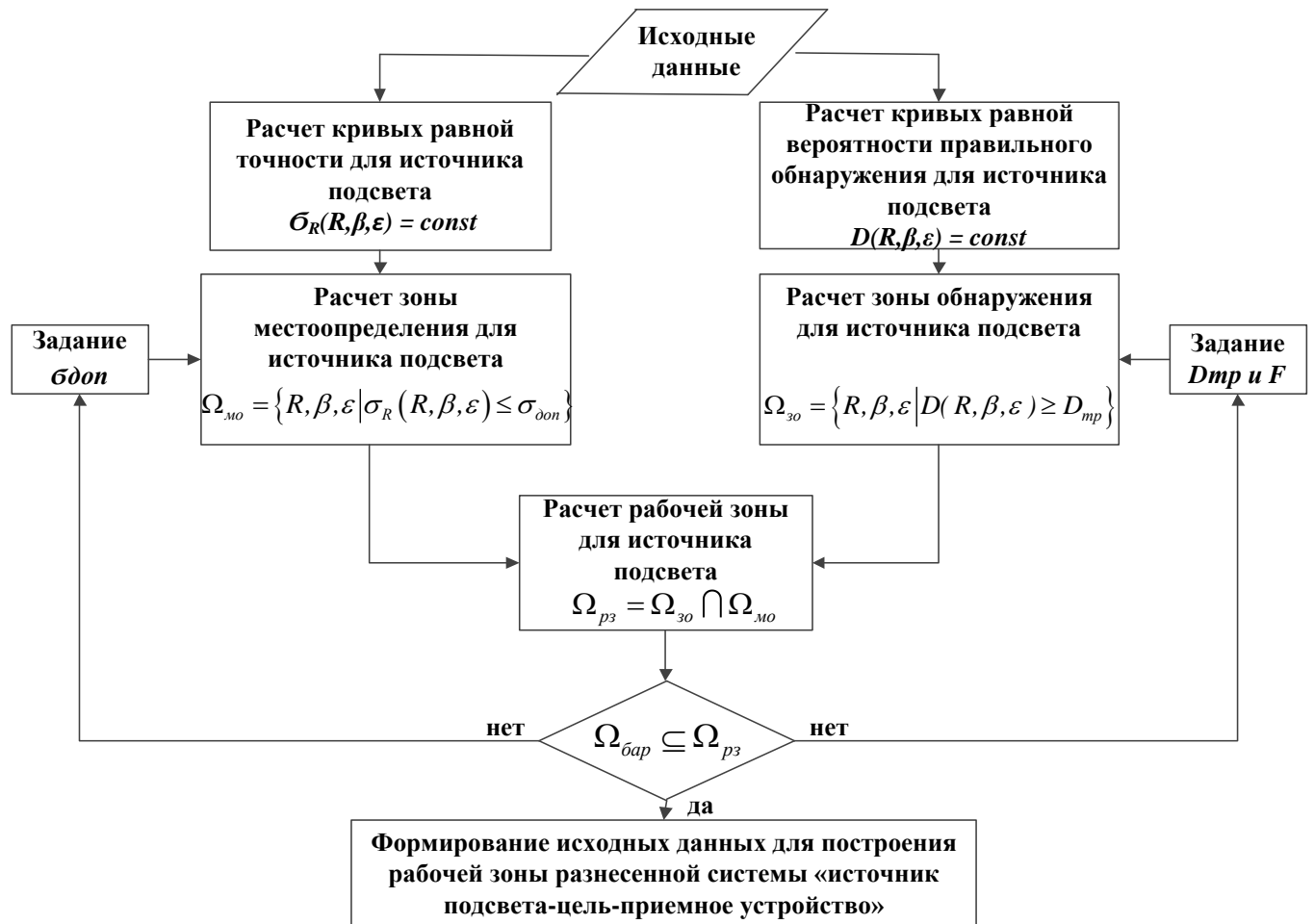


Рис. 1. Структура методики построения рабочей зоны МП РЛС по источнику подсвета.

На первом этапе использования методики проводится оценка точности определения дальности до носителя источника подсвета – расчет кривых равной точности $\sigma_R(R, \beta, \varepsilon) = const$. Причем в любом из методов измерения координат источника подсвета, которые могут быть реализованы в МП РЛС, дальность R является вторичной координатой и рассчитывается по измеренным первичным параметрам.

При использовании угломерного метода двумя приемными пунктами (рисунок 2) дальность до источника подсвета определяется по измеренным углам и известной базе b :

$$R = \frac{b}{\cos \varepsilon_1 (\cos(\beta_1 - \beta_{en}) - \sin(\beta_1 - \beta_{en}) \operatorname{ctg}(\beta_2^* - \beta_{en}))}, \quad (1)$$

где $\beta_2^* = 180 - \beta_2$.

Линеаризовав выражение (1) путем разложения его в ряд Тейлора по ошибкам измерения первичных координат, получим выражение для ошибки измерения дальности до источника подсвета:

$$\sigma_R = \sqrt{A_{\beta_1}^2 \sigma_{\beta_1}^2 + A_{\varepsilon_1}^2 \sigma_{\varepsilon_1}^2 + A_{\beta_2^*}^2 \sigma_{\beta_2^*}^2 + A_{\beta_{en}}^2 \sigma_{\beta_{en}}^2}, \quad (2)$$

где: $A_{\beta_1} = \frac{\partial R}{\partial \beta_1}$, $A_{\varepsilon_1} = \frac{\partial R}{\partial \varepsilon_1}$, $A_{\beta_2^*} = \frac{\partial R}{\partial \beta_2^*}$, $A_{\beta_{en}} = \frac{\partial R}{\partial \beta_{en}}$.

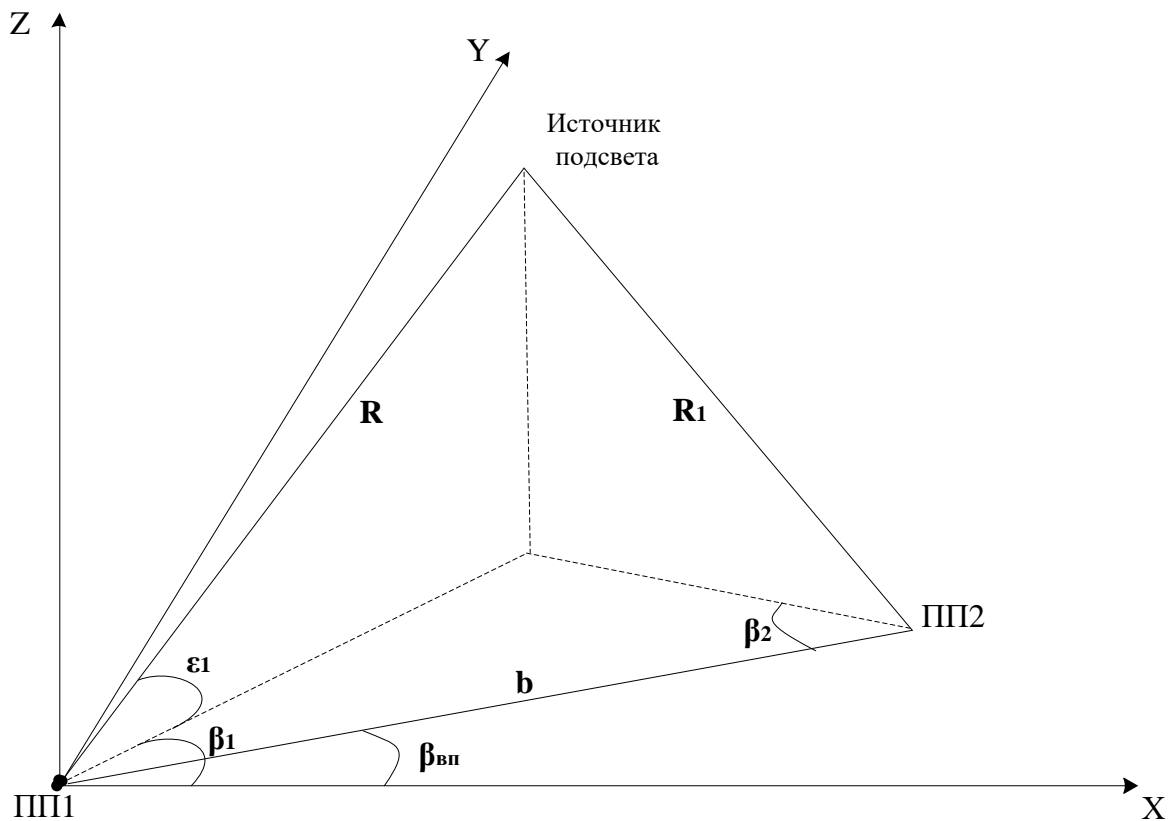


Рис. 2 Иллюстрация угломерного метода.

Точность измерения дальности до источника подсвета оказывает влияние на точность измерения дальности до цели в многопозиционной системе «источник подсвета-цель-приемные пункты», поскольку расстояние между источником подсвета и приемным пунктом является базой разнесенной системы. Влияние ошибки измерения базы на ошибку определения дальности до цели σ_{R_1} при использовании суммарно-дальномерно-пеленгационного метода позиционирования рассмотрено, например, в [5].

Кривая $\sigma_R \leq \sigma_{дон}$ ограничивает зону местоопределения, при этом ошибки

измерения угловых координат определяются техническими характеристиками пеленгаторов.

Если для измерения координат источника подсвета используется разностно-дальномерный метод (рисунок 3), то необходимо иметь не менее трех измеренных корреляционным методом разностей расстояний ΔR_i .

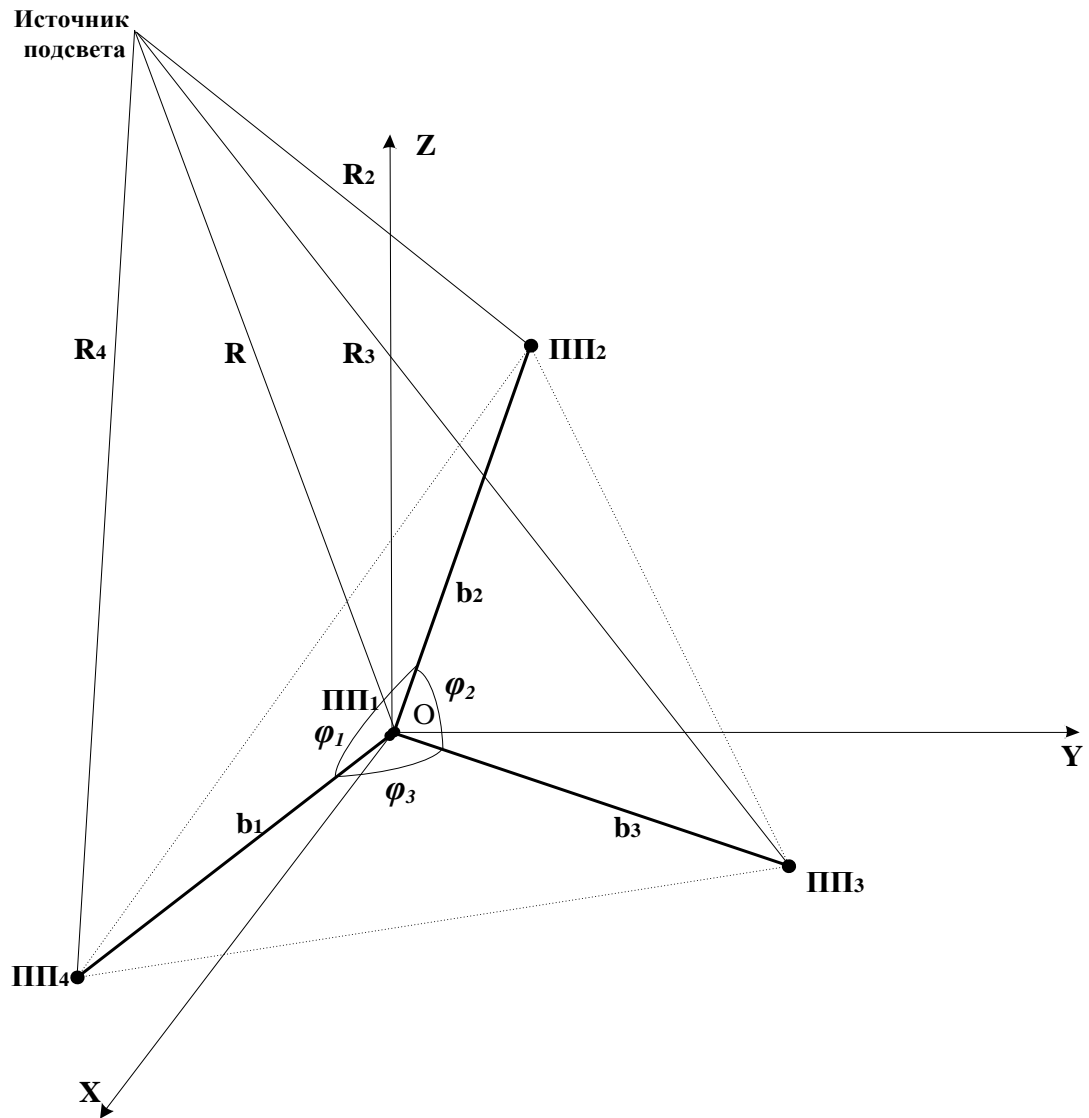


Рис. 3. Иллюстрация разностно-дальномерного метода.

Дальность до источника подсвета относительно центрального приемного пункта

R определяется выражением [6]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{[b_i^2 - (\Delta R_i)^2] \cdot \sin(\varphi_i)}{b_i}}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta R_i \cdot \sin(\varphi_i)}{b_i}}, \quad (3)$$

где b_i – базы; φ_i – угол между базами на плоскости.

Выражение (3) позволяет установить ошибки измерения дальности:

$$\sigma_R = \sqrt{A_{\Delta R_1}^2 \sigma_{\Delta R_1}^2 + A_{\Delta R_2}^2 \sigma_{\Delta R_2}^2 + A_{\Delta R_3}^2 \sigma_{\Delta R_3}^2}, \quad (4)$$

$$A_{\Delta R_1} = \frac{\partial R}{\partial \Delta R_1}, \quad A_{\Delta R_2} = \frac{\partial R}{\partial \Delta R_2}, \quad A_{\Delta R_3} = \frac{\partial R}{\partial \Delta R_3}.$$

Как и в предыдущем случае, кривая $\sigma_R \leq \sigma_{дон}$ ограничивает зону местоопределения.

На втором этапе использования методики выполняется расчет кривых равной вероятности правильного обнаружения $D(R, \beta, \varepsilon)$ источника подсвета и определение зоны обнаружения как области пространства, в пределах которой должен находиться передатчик для выполнения условия обеспечения требуемой вероятности его правильного обнаружения $D \geq D_{mp}$ при заданной вероятности ложной тревоги $F_{лт}$ во всех приемных позициях [7].

Для каждой точки пространства в зоне прямой видимости вычисляется отношение сигнал/шум по мощности q^2 :

$$q^2 = \frac{P_{пер} G_{пер} G \lambda^2 \eta_{пр} \eta_{пол}}{(4\pi)^2 k T_{эфф} R^2}, \quad (5)$$

где $P_{пер}$ – импульсная мощность передатчика, $G_{пер}$ – коэффициент усиления передающей антенны в направлении приемной позиции; G – коэффициент усиления антенны приемной позиции; λ – длина волны; $\eta_{пр}$ – коэффициент потерь в фидерном тракте приемного устройства; $\eta_{пол}$ – коэффициент потерь, учитывающий несовпадение поляризаций антенн передатчика и приемного устройства; R – расстояние от передатчика до приемной позиции; k – постоянная Больцмана; $T_{эфф}$ – эффективная шумовая температура на входе приемного устройства.

Соответствующее q значение вероятности правильного обнаружения D_j в j -приемном пункте при заданном значении вероятности ложной тревоги определяется [7] как

$$D_j = F_{лmj}^{1/(1+0.5q_j^2)}, j = 1...N. \quad (6)$$

Если решение об обнаружении принимается в соответствии с наиболее жестким решающим правилом - при обнаружении источника подсвета в каждом из N приемных пунктов, а вероятности $F_{лmj}$ в них одинаковы, то вероятность правильного обнаружения источника подсвета системой может быть определена

$$D = \prod_{j=1}^N D_j, \quad (7)$$

$$F_{лm} = F_{лmj}^{1/N}.$$

Точки пространства, для которых выполняется условие $D \geq D_{mp}$, составляют зону обнаружения источника подсвета.

Для определения зоны обнаружения разностно-дальномерной системы необходимо учитывать взаимную корреляционную обработку сигналов, принятых парами приемных пунктов [7]. При этом отношение сигнал/шум:

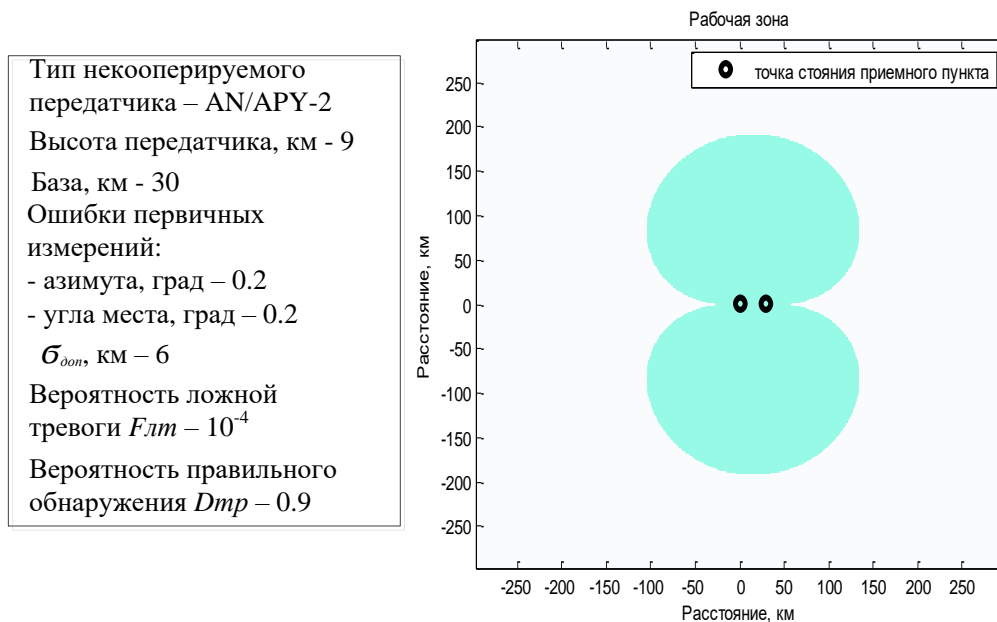
$$q_{\text{выхкорjl}}^2 = q_j^2 q_l^2 m / (1 + q_j^2)(1 + q_l^2), \quad j, l = \overline{1, N}, j \neq l, \quad (8)$$

где q_j, q_l – отношение сигнал/шум по мощности в приемных позициях,

$m = \Delta f \tau_u$ – коэффициент накопления сигнала.

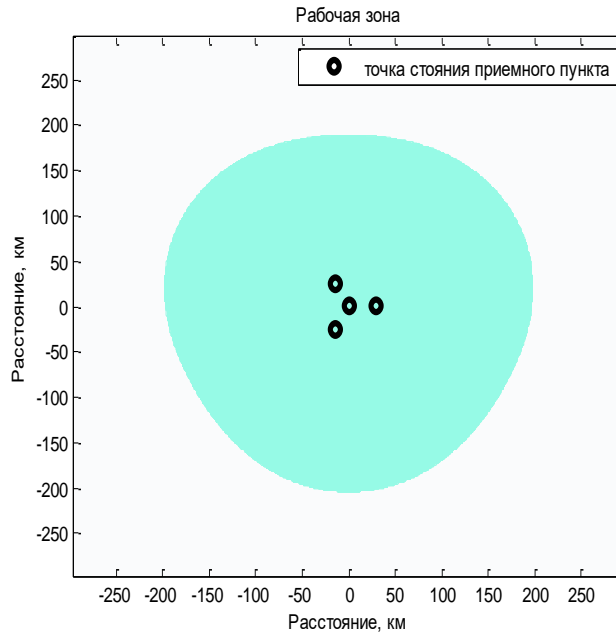
На третьем этапе определяется рабочая зона МП РЛС по источнику подсвета как пересечение зоны обнаружения и зоны местоопределения $\Omega_{pz} = \Omega_{zo} \cap \Omega_{mo}$.

Результаты моделирования. На рисунке 4 показано сечение рабочей зоны МП



a)

Тип некооперируемого передатчика – AN/APY-2
 Высота передатчика, км - 9
 База, км - 30
 Ошибки первичных измерений разности хода, м – 1
 $\sigma_{доп}$, м – 100
 Вероятность ложной тревоги $F_{лт} - 10^{-4}$
 Вероятность правильного обнаружения $D_{пр} - 0.9$



б)

Рис. 4. Сечение рабочей зоны для: а) угломерного метода; б) разностно-дальномерного метода.

РЛС по источнику подсвета при определении его местоположения угломерным и разностно-дальномерным методами.

В заключение проверяется принадлежность зоны барражирования носителя (координат точки стояния) источника подсвета рабочей зоне. При выполнении условия

$$\Omega_{бар} \subseteq \Omega_{рз} \quad (9)$$

делается вывод о возможности использования некооперируемого передатчика в качестве источника подсвета МП РЛС и формируются исходные данные для расчета рабочей зоны системы. В противном случае рассматривается возможность снижения требований к допустимой точности измерения дальности источника подсвета и (или) показателям качества его обнаружения, до выполнения условия (9).

Выводы. Таким образом, предложена методика оценки рабочей зоны МП РЛС по стороннему источнику подсвета, позволяющая оценить возможность использования его в многопозиционной РЛС и отличающаяся от известных учетом отсутствия априорных сведений о координатах источника подсвета. Приведены соотношения для определения рабочей зоны по источнику подсвета при использовании угломерного и разностно-дальномерного методов измерения координат.

Библиографический список

1. Сколника М.И. Справочник по радиолокации.- М.: Техносфера, 2014. – 680 с.
2. Бархатов А.В., Веремьев В.И., Ковалев Д.А., Коновалов А.А., Михайлов В.Н. Радиолокация по сигналам сторонних источников. Часть 2: освещение воздушной обстановки и экологический мониторинг // Инновации. 2013. №11. С.123-127.
3. Гришин Ю.П., Ипатов В.П. Радиотехнические системы. - М: Высшая школа, 1990. – 496 с.
4. Сайбель А.Г. Основы теории точности радиотехнических методов местоопределения. –М: Оборонгиз, 1958. – 54 с.
5. Лешко Н.А., Цыбульник А.Н. Радиотехническая разведка и скрытная радиолокация. Ярославль: Изд. ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, 2006. – 152 с.
6. Караваев В.В., Сазонов В.В. Статистическая теория пассивной локации. - М.: Радио и связь, 1987. – 240 с.

7. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. -М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.