



УДК 621.396.9

С. Г. Боровиков
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)
ул. Профессора Попова, д. 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия
А. А. Ивенский
ВУНЦ ВВС "Военно-воздушная академия
им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина"
ул. Старых Большевиков, д. 54 "А", Воронеж, 394064, Россия

Особенности определения местоположения источника помех, находящегося в непосредственной близости к радиоэлектронному средству с многоканальным приемным устройством, и оценки точности результатов

Аннотация. На современном уровне развития радиоэлектронных средств (РЭС) одним из важных свойств является работоспособность в условиях воздействия постановщиков помех, в частности расположенных вблизи РЭС, когда они существенно влияют на параметры электромагнитного поля, генерируемого и/или принимаемого РЭС. Одним из способов борьбы с таким постановщиком является его быстрое обнаружение самим РЭС с целью ликвидации. При решении этой задачи равно важны как минимальное время обнаружения, так и точность оценки местоположения источника помех.

В настоящей статье указанная задача рассмотрена на примере обнаружения радиолокационной станцией (РЛС) с многоканальным приемным устройством забрасываемого передатчика помех, расположенного вблизи ее антенного поля. Представлены схемы, отражающие геометрию задачи для фазового и разностно-дальномерного способов определения положения источника помех. Сформированы выражения, определяющие площадь зоны неопределенности при обнаружении источника помех и связь этой величины с параметрами РЛС – точностями определения дальности и азимута. Обоснована необходимость использования выражений, свободных от допущения дальней зоны относительно взаимного расположения РЛС и источника помех. Рассмотрено определение дальности на основе сигнала, полученного РЛС в режиме кругового или секторного обзора. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета удаленности источника помех от РЭС при реализации основных методов определения местоположения источников излучения.

Ключевые слова: определение местоположения, источник помех, точность определения координат, область неопределенности

Для цитирования: Боровиков С. Г., Ивенский А. А. Особенности определения местоположения источника помех, находящегося в непосредственной близости к радиоэлектронному средству с многоканальным приемным устройством, и оценки точности результатов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2018. № 3. С. 63–70.

S. G. Borovikov
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"
5, Professor Popov Str., 197376, St. Petersburg, Russia
A. A. Ivensky
Russian Air Force MESC "Zhukovsky – Gagarin Air Force Academy"
54A, Staryh Bolshevikov Str., 394064, Voronezh, Russia

Special Aspects of Fixing Interfering Source Located in Close Proximity to Radio-Electronic Equipment with Multi-Channel Receiver and Estimate of Accuracy

Abstract. One of the fundamental properties of modern radio electronic equipment (REE) is jammer-induced performance in particular when located near REE, when they significantly affect the parameters of electromagnetic field generated

and/or received by REE. One of the ways of antijamming is its rapid detection by REE for elimination purpose. In solving this problem, both the minimum detection time and the accuracy of the noise source location are equally important.

In this article, the problem is considered using the example of radar detection with a multi-channel receiving device and thrown noise transmitter located close to its antenna field. The schemes displaying the problem geometry for phase and difference-distance-measuring methods for determining of jammer position are presented. Expressions are formed that determine the area of uncertainty zone when jammer detecting and connection of this value with radar parameters – ranging and azimuth accuracy. The necessity of using expressions free of far zones assumptions with respect to the radar and jammer relative position is explained. Ranging based on the signal received by radar in the mode of circular or sector review is considered. The results obtained confirm the necessity to take into account the distance between the jammer and REE when implementing the basic methods for determining radiation source location.

Key words: detection of location, jammer, accuracy of coordinates determination, uncertainty range

For citation: Borovikov S. G., Ivinsky A. A. Special Aspects of Fixing Interfering Source Located in Close Proximity to Radio-Electronic Equipment with Multi-Channel Receiver and Estimate of Accuracy. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2018, no. 3, pp. 63–70. (In Russian)

Введение. Информационные модели в радиолокационной системе определяются исходя из возможностей входящих в ее состав элементов. Существующие в настоящее время информационные модели не предусматривают отображение информации о применении забрасываемого передатчика помех (ЗПП). В то же время информация о воздействии ЗПП является необходимой для оценки обстановки и принятия обоснованных решений. В связи с этим предлагается совершенствовать существующие системы отображения информации радиоэлектронным средством (РЭС). Необходимо реализовать технические решения, позволяющие по характерным признакам выявить факт применения ЗПП (в частности, воздействие источников помех, расположенных в непосредственной близости к антенным системам РЭС), обеспечить передачу информации о факте применения (воздействия), а также их координатах оператору. Основными из них являются включение в состав аппаратуры обработки информации устройства определения местоположения ЗПП, функционально связанного с системой передачи азимута; определение коэффициента сжатия зоны обнаружения для радиолокационной станции (РЛС) (либо соответствующих параметров для РЭС другого функционального назначения); анализ изменения дальности и угла места ЗПП; введение отдельного графического обозначения для ЗПП и дублирование этой визуальной информации звуковым сигналом, а также отображение области неопределенности для учета особенностей определения местоположения.

При прочих равных условиях расположенные в непосредственной близости источники помех сильнее влияют на функционирование РЭС, так как создают на входе приемных трактов помехи большей мощности.

Причинами наличия источников помех в непосредственной близости от РЭС могут быть:

- невыполнение требований по электромагнитной совместимости;
- техногенные процессы, сопровождающиеся электромагнитными излучениями;
- применение специальных РЭС при недобросовестной конкуренции;
- радиоэлектронное подавление в ходе радиоэлектронной борьбы при ведении боевых действий.

В военном аспекте радиоэлектронному подавлению подвергаются РЭС, входящие в состав информационных систем, систем управления и связи, а также являющиеся компонентами сложных образцов вооружения. При этом используются источники помех, обладающие адресным воздействием, что при создании требуемого уровня спектральной плотности мощности в рабочем диапазоне подавляемых объектов позволяет исключить влияние помеховых сигналов на свои РЭС.

Существуют различные методы обеспечения работоспособности РЭС в условиях воздействия помеховых сигналов значительной интенсивности [1], [2]. Их подразделяют на организационные и технические. Технические методы предусматривают включение в состав РЭС элементов, обеспечивающих требуемое качество функционирования за счет использования дополнительных операций обработки сигналов в условиях сложной электромагнитной обстановки. Однако применение только технических средств не всегда обеспечивает требуемое качество функционирования РЭС в силу специфики влияния помех на результаты обработки входного сигнала. Организационные методы включают в себя совокупность мероприятий, связанных с деятельностью лиц, подготавливающих к эксплуатации РЭС и непосредственную эксплуатацию их, на различных уровнях управления.

В большинстве случаев для обеспечения работоспособности РЭС требуется определение местоположения источников помеховых излучений.

При реализации организационных мероприятий это необходимо для выбора оптимального набора действий, либо минимизирующих вред от помеховых сигналов (перераспределение энергетики РЭС в пространстве, по частотным составляющим и т. д.), либо снижающих энергию помех в местах расположения РЭС (экранирование; в цивилизованном обществе – взаимодействие с владельцами создающих мешающие излучения РЭС, направленное на временное разделение работы; в военной сфере – физическое уничтожение применяемых противником источников излучений).

Технические методы использования априорной информации о местоположении источников помех позволяют улучшить показатели устройств, обеспечивающих помехоустойчивость (автокомпенсаторы, устройства стабилизации уровня ложных тревог и т. п.).

Определение местоположения источников излучения основано на применении методов пассивной локации [3], [4]. В общем случае для их реализации требуется несколько приемных пунктов, как правило, создаваемых на базе отдельных РЭС, входящих в радиоэлектронную систему. Однако использование нескольких РЭС не всегда возможно, что может быть обусловлено территориальной спецификой либо диапазоновыми свойствами. С учетом вышеизложенного существует необходимость решения указанной задачи на базе одного РЭС.

Постановка задачи. Таким образом, существует задача определения одним РЭС местоположения источника помех при условии малой взаимодальности РЭС и источника. Наряду с этой задачей необходимо также разработать средства учета особенности конфигурации при оценке результата.

Определение координат источника помех. Рассмотрим определение местоположения источников помех одним РЭС на примере ЗПП и РЛС [5], [6] с многоканальным приемным устройством. ЗПП [7] являются эффективным средством радиоэлектронного подавления. Основным методом обеспечения радиоэлектронной защиты РЛС при применении ЗПП является физическое уничтожение последних.

Из условий применения ЗПП следует ограниченность времени принятия решения о факте его применения и для поиска ЗПП. Для снижения времени поиска необходимо с высокой точностью определять местоположение ЗПП. Применяемая в настоящее время методика определения местоположения требует привлечения дополнительных людских и аппаратурных ресурсов [7]. Кроме того,

сложный рельеф местности и достаточно большая площадь поиска приводят к тому, что прием сигналов ЗПП не всегда осуществляется несколькими радиолокационными станциями. Таким образом, существует объективная необходимость уменьшения привлекаемых ресурсов, в частности определение местоположения ЗПП одной РЛС.

Для ЗПП характерны неподвижность и малые углы места. С учетом того что большая часть РЛС использует полярную систему координат, для определения местоположения ЗПП на РЛС требуется измерить значения азимута и дальности.

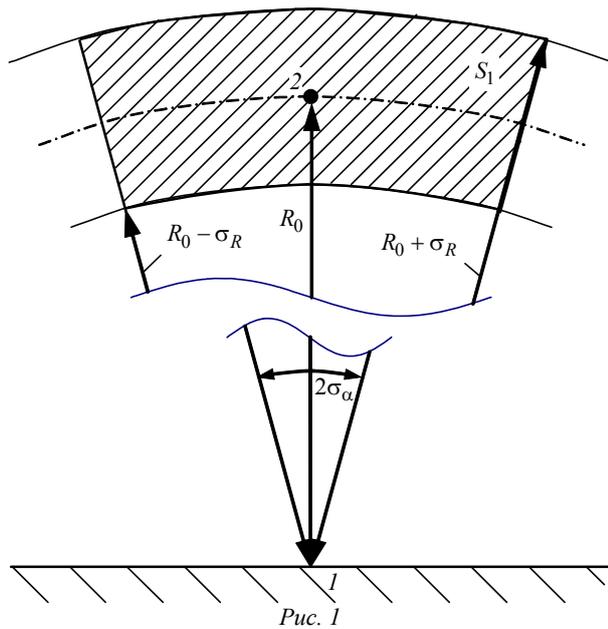
Пеленгация может осуществляться любым известным методом [8], но с учетом того, что основной особенностью применения ЗПП является малая удаленность от подавляемой РЛС, в частности, возможно нахождение ЗПП не только в дальней, но и в ближней зоне антенных систем РЛС.

Значительное количество РЛС с многоканальным приемным устройством имеют антенные системы, размер которых существенно превышает длину волны сигналов [9]. Это позволяет посредством совместного анализа сигналов в приемных каналах измерить дальность до источника излучения.

В качестве информативного параметра при определении дальности до ЗПП предлагается использовать кривизну фазового фронта создаваемых ими сигналов [10]. При использовании двух каналов обработки значение дальности до источника излучения рассчитывается на основе измерения временного смещения сигналов в каналах.

Для измерения временного смещения сигналов ЗПП, которые с учетом современного уровня развития технологий могут создавать помехи различных видов, в общем случае целесообразно применение корреляторов. Наряду с этим, учитывая частотную избирательность приемных каналов РЛС, определение кривизны фазового фронта помеховых сигналов возможно посредством анализа их фазовых соотношений [11]. Снижение ошибок измерения достигается увеличением количества используемых каналов обработки с последующим усреднением. Однако флуктуации фазы, вызванные, например, случайными неоднородностями среды распространения, неидентичностями элементов приемного тракта и т. д., неизбежно порождают ошибки в измерении фазы и, следовательно, дальности до ЗПП.

Ошибка, определяющая точность достижения конечного результата, в рассматриваемом случае характеризуется областью неопределенности местоположения ЗПП (источника излучения), размеры которой обусловлены ошибками определения коор-



динат (ошибками определения линий положения). Важно учитывать, что в отличие от ситуации, когда источник излучения находится на значительном удалении от РЭС, применение аппроксимации области неопределенности эллипсом в рассматриваемом случае приведет к искажениям в оценке точности. Это, в свою очередь, может привести к увеличению времени поиска, а в крайнем случае не позволит визуально обнаружить ЗПП.

Геометрическая интерпретация рассматриваемой ситуации в полярной системе координат представлена на рис. 1. РЛС расположена в точке 1, ЗПП – в точке 2. Границы кольцевого сектора S_1 задаются среднеквадратическими ошибками измерения пеленга σ_α и дальности σ_R , а также расстоянием между РЛС и ЗПП R_0 . С учетом известного выражения для площади сектора кругового кольца площадь области неопределенности рассчитывается согласно выражению

$$S_1 = (\pi/45) R_0 \sigma_R \sigma_\alpha. \quad (1)$$

Зависимости площади области неопределенности от дальности приведены на рис. 2, а, от среднеквадратической ошибки определения угловой координаты – на рис. 2, б. Линии 1 получены при определении этого параметра как эллипса с полуосями, задаваемыми среднеквадратическими ошибками измеряемых координат [12], линии 2 определены. Линии 3 представляют разницу этих оценок. Из (1) следует, что уменьшение области неопределенности достигается повышением точности измерения дальности ЗПП и его углового положения.

Повышение точности измерения дальности возможно за счет учета разностей фаз сигнала в

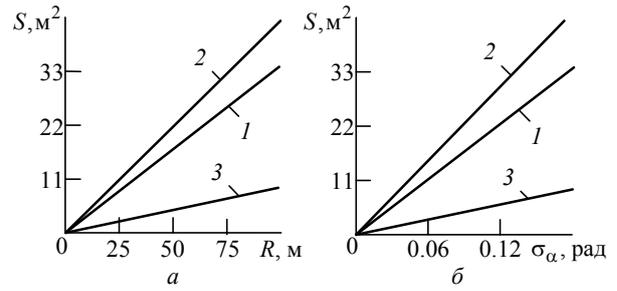


Рис. 2

каждом приемном канале и реализации алгоритма усреднения фаз с весовыми коэффициентами [13]. Кроме того, в случае коррелированных фазовых флюктуаций [14] снизить ошибку определения дальности до ЗПП можно, учитывая параметры, характеризующие корреляционную матрицу фазовых флюктуаций [15]. С учетом указанных методов предлагается структурная схема устройства определения дальности до ЗПП (рис. 3).

Для измерения временного смещения используются фазометры (Φ), функционирование которых обеспечивается тем, что помеховые сигналы принимаются излучателями антенной решетки (И) и обрабатываются в приемных устройствах (Пр). В качестве опорного для фазометров применяется выходной сигнал центрального приемного канала, который также используется для работы блока синхронизации (БС). БС обеспечивает функционирование блока весового суммирования (БВС) и формирование импульсов для системы вращения антенны (СВА). Система перестройки частоты (СПЧ) управляет частотными характеристиками Пр и передает текущее значение частоты в блок вычисления дальности (БВД). Характеристики флюктуаций фазы сигналов на раскрытие антенны формируются в блоке определения характеристики флюктуаций фазы (БОХФФ) [16].

Повышение точности определения углового положения требует учета малой удаленности ЗПП от подавляемой РЛС. При их расположении в ближней зоне основной антенны РЛС искажается форма диаграммы направленности этой антенны (расширяется или раздваивается главный лепесток) [17], что приводит к существенному увеличению ошибки измерения азимута. Поэтому определять азимутальную координату ЗПП целесообразно антеннами, обладающими минимальным размером ближней зоны, а в антенных системах, образованных дискретными элементами, использовать не весь раскрыт антенной системы, а его отдельные элементы. В то же время для пеленгации ЗПП важно обеспечить высокую пространственную избира-

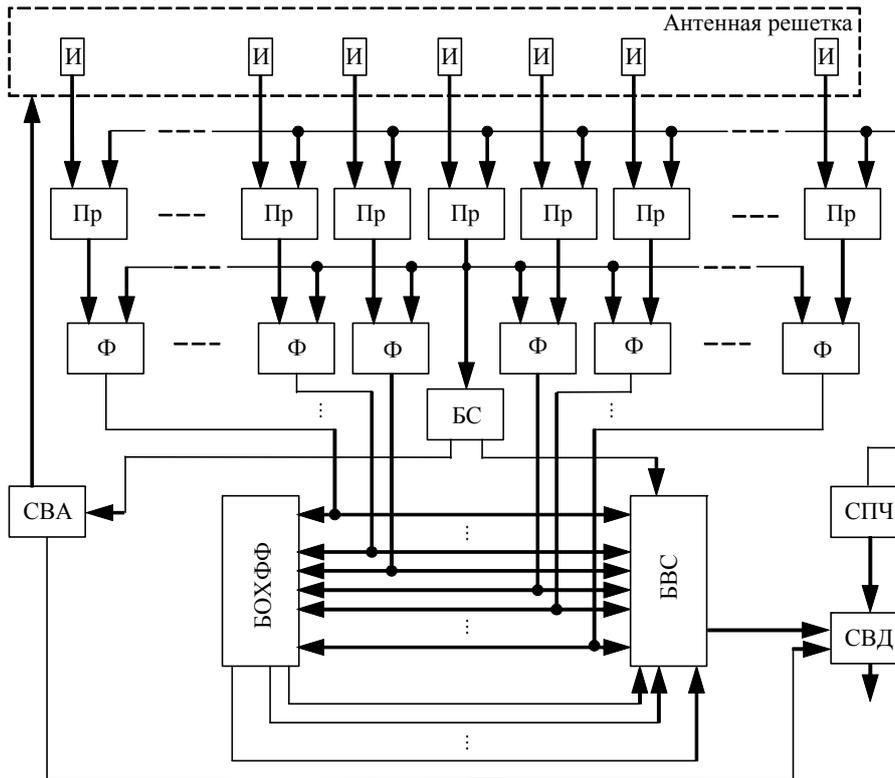


Рис. 3

тельность, что требует антенн и антенных систем с большим раскрывом.

Для определения местоположения источников излучения в радиотехнических системах часто применяется триангуляционный метод. Он работоспособен при выполнении ряда условий. Во-первых, необходимо чтобы воздействие мешающих излучений фиксировалось несколькими приемными пунктами, во-вторых, эти приемные пункты должны быть разнесены на достаточное расстояние (базу), в-третьих, источник и приемные пункты не должны располагаться на одной линии (иначе не будет достигнута ограниченность области неопределенности).

Если речь идет об источнике, расположенном на незначительном удалении от РЭС, обладающих многоканальным приемным устройством и антенными системами с габаритами, значительно превышающими длину волны мешающего излучения, триангуляционный метод может быть реализован. Предлагается реализовать приемные пункты с частичным использованием основных каналов (трактов) обработки сигналов, при условии разнесения антенных элементов на максимально возможное расстояние.

Предельное значение базы при условии использования конструкции штатной антенной системы соответствует размеру раскрыва. В этом случае линии визирования в месте расположения ЗПП нельзя считать параллельными. Поэтому в

качестве оценки точности определения местоположения целесообразно принять оценку площади области неопределенности, задаваемой ошибками определения линий положения.

Геометрическая интерпретация рассматриваемой ситуации представлена на рис. 4. Область неопределенности $A'BC'B'$ ограничена отрезками $A'B$, BC' , $C'B'$ и $B'A'$, положение которых зависит от местоположения ЗПП и точностей определения пеленгов в приемных пунктах, расположенных в точках A и C . Площадь области неопределенности выражается через площади треугольников с общей стороной AC – базой РЛС D :

$$S_2 = S_{ABC} - S_{AA'C} - S_{AC'C} + S_{AB'C}.$$

С учетом известного выражения, определяющего площадь треугольника через его сторону и прилегающие к ней углы, площадь области неопределенности составляет:

$$S_2 = \frac{D^2}{2} \sum_{i=0}^1 \sum_{k=0}^1 (-1)^i \times \frac{\sin[\alpha + (-1)^k \sigma_\alpha] \sin[\gamma + (-1)^{k+i} \sigma_\gamma]}{\sin[\alpha + (-1)^k \sigma_\alpha + (-1)^{k+i} \sigma_\gamma]}, \quad (2)$$

где α, γ – углы между направлением на источник излучения и базой; $\sigma_\alpha, \sigma_\gamma$ – среднеквадратические ошибки измерения углов α и γ соответственно.

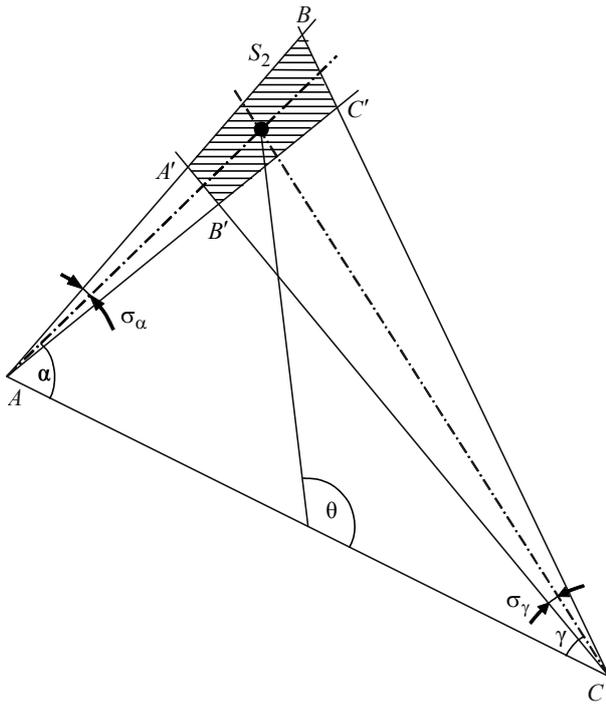


Рис. 4

Отказ от принятых упрощений, основанных на особенностях дальней зоны, позволяет получить более достоверные результаты оценки точности при определении области поиска ЗПП. На рис. 5 представлены зависимости площади области неопределенности от угла визирования θ , полученные по (2) (кривая 1) и при использовании аппроксимации дальней зоны [18] (кривая 2).

Для определения площади области неопределенности положения ЗПП по (1) требуется знание расстояния до него. Определить местоположение ЗПП, расположенного на незначительном удалении, можно применением РЛС в режиме кругового или секторного обзора либо антенных полей с достаточным количеством образующих элементов.

В этом случае предлагается модифицировать триангуляционный метод и использовать алгоритм определения местоположения, основанный на выражении

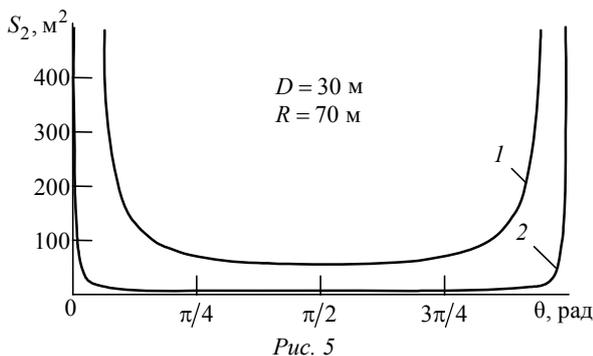


Рис. 5

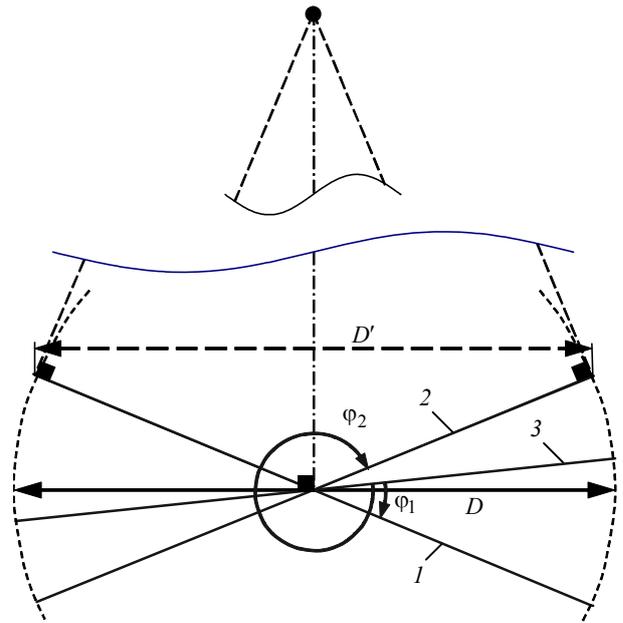


Рис. 6

$$R = \frac{D'}{2 \cos[(\varphi_2 - \varphi_1)/2]}, \quad (3)$$

где D' – база; φ_1, φ_2 – углы поворота антенны (рис. 6).

Определение дальности в соответствии с (3) предусматривает фиксацию двух углов поворота антенны, в которых волновой фронт помехового сигнала является касательным к плоскости раскрытия в фазовых центрах антенных элементов 1 и 2, используемых для пеленгации из начального положения антенны 3.

Площадь области неопределенности также определяется выражением (2) при подстановке $\alpha = \gamma = (\varphi_2 - \varphi_1)/2$ и использовании прежнего значения точности угловых положений, а база D' зависит от удаленности ЗПП и разности углов φ_1 и φ_2 :

$$D' = D \sin\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right). \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получим формулу оценки расстояния до ЗПП по углам поворота антенн, соответствующих касательности волнового фронта сигнала ЗПП к их раскрытию:

$$R = (D/2) \operatorname{tg}[(\varphi_2 - \varphi_1)/2].$$

Комплексирование рассмотренных методов позволит минимизировать площадь области неопределенности, т. е. повысить достоверность измерений, а при определенных условиях существенно снизить количество ложных точек местоположения при наличии нескольких ЗПП.

Выводы и заключение. Таким образом, имеется возможность определения местоположения источников помех на базе одного РЭС с многоканальным приемным устройством. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета удаленности источника помех от РЭС при реализации основных методов определения местоположения ис-

точников излучения. Предлагаемые технические решения позволяют определять местоположение ЗПП одним РЭС с несколькими каналами приема в случае их непосредственной близости, расширяя тем самым возможности и создавая условия для принятия своевременных мер, направленных на обеспечение выполнения функциональных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприянов А. И., Шустов Л. Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. М.: Вузовская кн., 2011. 800 с.
2. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
3. Белоцерковский Б. Г. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. М.: Сов. радио, 1975. 336 с.
4. Караваев В. В., Сазонов В. В. Статистическая теория пассивной локации. М.: Радио и связь, 1984. 240 с.
5. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скольника; пер. с англ. под общ. ред. К. Н. Трофимова. В 4 т. Т. 4: Радиолокационные станции и системы / под ред. М. М. Вейсбейна. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
6. Основы построения РЛС РТВ / В. П. Блохин, Б. Ф. Бондаренко, В. Т. Неснов, В. Е. Угольников; под ред. Б. Ф. Бондаренко; КВИРТУ ПВО. Киев, 1987. 368 с.
7. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба. 2-е изд. М.: Воениздат, 1989. 350 с.
8. Бакулев П. А. Радиолокационные системы: учеб. для вузов. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
9. Ботов М. И., Вяхирев В. А. Основы теории радиолокационных систем и комплексов: учеб. / под общ. ред. М. И. Ботова; Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2013. 530 с.
10. Пространственно-временная обработка сигналов / И. Я. Кремер, А. И. Кремер, В. М. Петров, В. А. Понькин, Н. А. Потапов; под ред. И. Я. Кремера. М.: Радио и связь, 1984. 224 с.
11. Боровиков С. Г., Ястребов Ю. В. О необходимости принятия дополнительных мер для определения координат источников излучения находящихся в зоне Френеля РЛС // Актуальные вопр. развития радиоэлектронной техники РТВ ВВС: тематич. науч. сб. / ФВУ ПВО. СПб., 2004. № 12. С. 85–88.
12. Сайбель А. Г. Основы теории точности радиотехнических методов местоопределения М.: Оборонгиз, 1958. 56 с.
13. Пат. RU 2322681 C2 G01S11/00 (2006.01). Способ измерения дальности до забрасываемого передатчика помех и устройство для его реализации / С. Г. Боровиков, Ю. В. Ястребов; опубл. 20.04.2008. Бюл. № 11.
14. Марков Г. Т., Петров Б. М., Грудинская Г. П. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Сов. радио, 1979. 376 с.
15. Боровиков С. Г., Ястребов Ю. В. Особенности пространственной обработки РЛИ в РЛС с антенными решетками при определении дальности до забрасываемых постановщиков помех // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов "Анализ и прогнозирование систем управления", май 2005, Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005. С. 132–133.
16. Пат. RU 2336562 C2 G06G 7/52 (2006.01). Устройство для измерения характеристик случайных процессов / И. И. Сытько, П. П. Шумаков, Н. С. Науменко, О. В. Латий; опубл. 20.10.2008. Бюл. № 29.
17. Антенные системы радиоэлектронной техники / Л. Н. Марков, Г. Г. Астистов, В. И. Лысенко, А. С. Фошкин. М.: Военное изд-во, 1993. 336 с.
18. Кондратьев В. С., Котов А. Ф., Марков Л. Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.

Статья поступила в редакцию 9 февраля 2018 г.

Боровиков Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук (2007), доцент кафедры радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор более 30 научных работ. Сфера научных интересов – алгоритмы обработки сигналов, радиолокационные системы.
E-mail: bors509@gmail.com

Ивенский Андрей Анатольевич – инженер по специальности "Вооружение и военная техника" (1995, Тамбовское высшее военное командное училище), адъюнкт кафедры 212 Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина" Министерства обороны Российской Федерации. Автор 4 научных работ. Сфера научных интересов – радиолокация.
E-mail: iaa974@mail.ru

REFERENCES

1. Kupriyanov A. I., Shustov L. N. *Radioelektronnaya bor'ba. Osnovy teorii* [Electronic Warfare. Fundamentals]. Moscow, *Vuzovskaya kniga*, 2011, 800 p. (In Russian)
2. Shirman Ya. D., Manzhos V. N. *Teoriya i tekhnika obrabotki radiolokatsionnoi informatsii na fone pomekh* [Theory and Technique of Radar Information Processing Against Background Noise]. Moscow, *Radio i svyaz'*, 1981, 416 p. (In Russian)
3. Belotserkovskii B. G. *Osnovy radiolokatsii i radiolokatsionnye ustroystva* [Fundamentals of Radar and Radar Devices]. Moscow, *Sov. radio*, 1975, 336 p. (In Russian)
4. Karavaev V. V., Sazonov V. V. *Statisticheskaya teoriya passivnoi lokatsii* [Statistical Theory of Passive Location]. Moscow, *Radio i svyaz'*, 1984, 240 p. (In Russian)
5. Skolnik M. *Radar handbook*. New York, McGraw-Hill Book Co, 1970, 1200 p.
6. Blokhin V. P., Bondarenko B. F., Nesnov V. T., Ugol'nikov V. E. *Osnovy postroeniya RLS RTV* [Fundamentals of RTV Radar Construction, ed. by Bondarenko B. F.]. *KVIRTU PVO*. Kiev, 1987, 368 p. (In Russian)
7. Palii A. I. *Radioelektronnaya bor'ba 2-e izd.* [Electronic Warfare]. Moscow, *Voenizdat*, 1989, 350 p. (In Russian)
8. Bakulev P. A. *Radiolokatsionnye sistemy: uchebnik dlya vuzov* [Radar Systems: Textbook for High Schools]. Moscow, *Radiotekhnika*, 2004, 320 p. (In Russian)
9. Botov M. I., Vyakhirev V. A. *Osnovy teorii radiolokatsionnykh sistem i kompleksov* [The Fundamentals of Radar Systems and Complexes]. *Sib. feder. un-t*, Krasnoyarsk, 2013, 530 p. (In Russian)
10. Kremer I. Ya., Kremer A. I., Petrov V. M., Pon'kin V. A., Potapov N. A. *Prostranstvenno-vremennaya obrabotka signalov* [Spatially-Temporal Signal Processing]. Moscow, *Radio i svyaz'*, 1984, 224 p. (In Russian)
11. Borovikov S. G., Yastrebov Yu. V. On the Need for Additional Measures for Fixing Radiation Sources in Radar Fresnel Area. *Aktual'nye voprosy razvitiya radioelektronnai tekhniki RTV VVS* [Key Issues of RTV Air Force Radio Electronic Equipment Development]. 2004, no. 12, pp. 85–88. (In Russian)
12. Saibel' A. G. *Osnovy teorii tochnosti radiotekhnicheskikh metodov mestoopredeleniya* [Fundamentals of Accuracy of Radio Engineering Fixing Methods]. Moscow, *Oborongiz*, 1958, 56 p. (In Russian)
13. Borovikov S. G., Yastrebov Yu. V. *Sposob izmereniya dal'nosti do zabrasyvaemogo peredatchika pomekh i ustroystvo dlya ego realizatsii* [Method for Measuring Distance to Thrown Interference Transmitter and Device for its Implementation]. Patent RF, no. 2322681, 2008. (In Russian)
14. Markov G. T., Petrov B. M., Grudinskaya G. P. *Elektrodinamika i rasprostranenie radiovoln* [Electrodynamics and Propagation of Radio Waves]. Moscow, *Sov. radio*, 1979, 376 p. (In Russian)
15. Borovikov S. G., Yastrebov Yu. V. Special Aspects of Radar Spatial Processing in Antenna Array Radars when Ranging Thrown Jammers. *Tr. Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. molodykh uchenykh, studentov i aspirantov "Analiz i prognozirovanie sistem upravleniya"* [Proceedings of Intern. Scientific-Practical Conf. of Young Scientists, Students and Postgraduate Students "Analysis and Forecasting of Management Systems."]. SPb., *SZTU*, 2005, pp. 132–133. (In Russian)
16. Syt'ko I. I., Shumakov P. P., Naumenko N. S., Latii O. V. *Ustroystvo dlya izmereniya kharakteristik sluchainykh protsessov* [Device for Random Process Characteristics Measuring]. Patent RF, no. 2336562, 2008. (In Russian)
17. Markov L. N., Astistov G. G., Lysenko V. I., Foshkin A. S. *Antennnye sistemy radioelektronnai tekhniki* [Radioelectric Engineering Antenna Systems]. Moscow, *Voennoe izdatel'stvo*, 1993, 336 p. (In Russian)
18. Kondrat'ev V. S., Kotov A. F., Markov L. N. *Mnogopozitsionnye radiotekhnicheskie sistemy* [Multiposition Radio Engineering Systems]. Moscow, *Radio i svyaz'*, 1986, 264 p. (In Russian)

Received February, 09, 2018

Sergey G. Borovikov – Ph. D. in Engineering (2007), Associate Professor of the Department of Radio Electronics Equipment of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of more than 30 scientific publications. Area of expertise: signal processing algorithms, radar systems.
E-mail: bors509@gmail.com

Andrey A. Ivensky – postgraduate student of 212 Department of Military Educational and Scientific Centre of Air Force "Zhukovsky – Gagarin Air Force Academy" of the Ministry of Defense of the Russian Federation. The author of 4 scientific publications. Area of expertise: radiolocation.
E-mail: iaa974@mail.ru