



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., Ivensky 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.

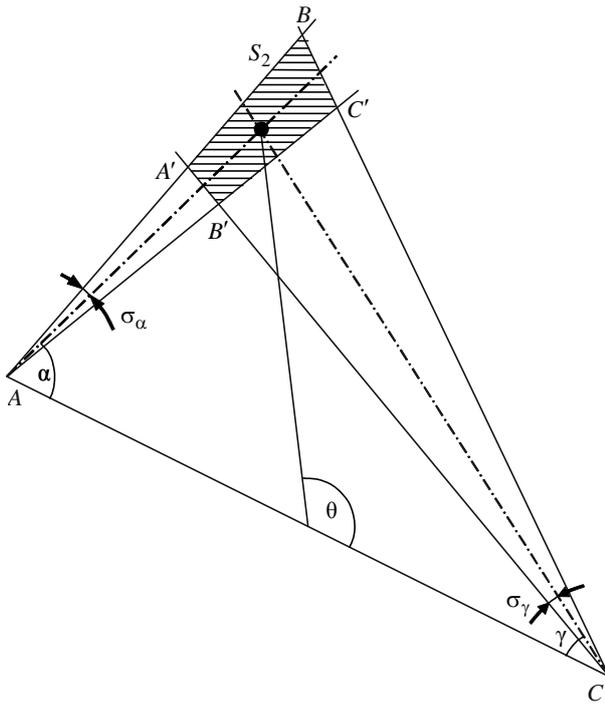


Рис. 4

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

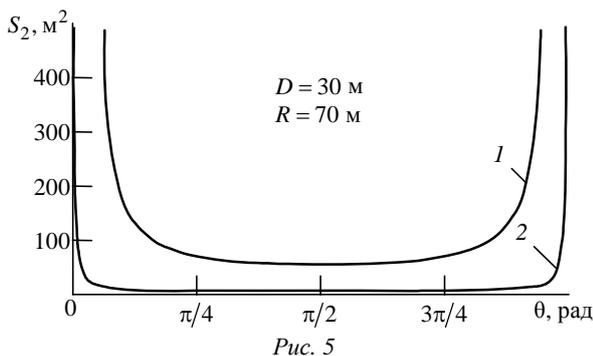


Рис. 5

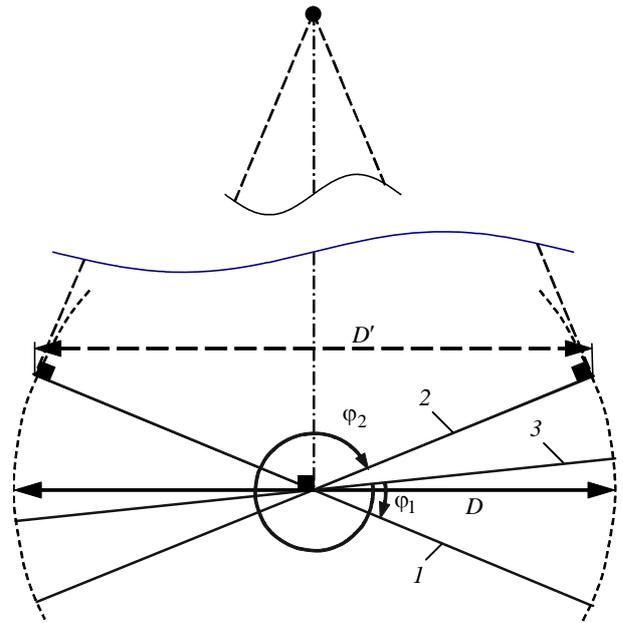


Рис. 6

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

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:

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

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