

УДК 621.396.663

А.С. Аникин, В.П. Денисов, Н.А. Колядин

Анализ эффективности совместного применения методов устранения аномальных ошибок в фазовых пеленгаторах, работающих по сканирующему источнику на приземных трассах

Рассмотрено совместное использование методов устранения аномальных ошибок, наблюдаемых в работе двухбазового фазового пеленгатора при приёме сигналов от сканирующего источника радиоизлучения, основанных на разрешении неоднозначности фазовых измерений и учёте внутриимпульсных искажений. Эффективность совместного применения методов в задаче повышения точности двухбазового фазового пеленгатора показана экспериментально.

Ключевые слова: фазовый пеленгатор, разрешение неоднозначности, аномальные ошибки, внутриимпульсная обработка.

В двухбазовых фазовых пеленгаторах погрешности принято делить на два класса – малые, связанные с неточностью фазовых измерений, и аномальные, вызванные неправильным устранением неоднозначности [1–4]. Указанная классификация установлена при вычислении пеленга как среднего по совокупности измерений, содержащих с малой вероятностью значения с аномальной погрешностью. Устранение аномальных ошибок в этом случае может быть выполнено известными в метрологии статистическими критериями отбраковки грубых измерений [4, 5]. В моноимпульсных системах измерение пеленга выполняется по одному принятому импульсу, что делает непригодными критерии отбраковки измерений, основанные на статистических характеристиках всей выборки измерений.

В данной статье применительно к двухбазовым фазовым пеленгаторам рассматриваются методы устранения аномальных ошибок, основанные на приводящих к ним физических явлениях, при приёме сигналов от ИРИ со сканирующей антенной. Физические явления, приводящие к аномальным ошибкам пеленгования, рассмотрены в работе [6], а методы их устранения основаны на разрешении неоднозначности фазовых измерений [7] либо на учёте внутриимпульсных искажений [8]. Эти методы позволяют повысить точность пеленгования фазового пеленгатора, определяемую как среднеквадратическое отклонение (СКО) пеленгов, измеренных по разности фаз между сигналами приёмных антенн большой базы за время, соответствующее одному обороту антенны ИРИ.

Целью данной работы является экспериментальная оценка увеличения точности пеленгования ИРИ со сканирующей антенной на наземных трассах в результате совместного применения методов устранения аномальных ошибок, основанных на разрешении неоднозначности фазовых измерений и учёте внутриимпульсных искажений сигналов.

Экспериментальные данные получены в декабре на двух сухопутных трассах дифракционного типа протяжённостью 16 и 19 км при приёме сигналов от ИРИ со сканирующей антенной в сантиметровом диапазоне частот. В качестве источника радиоизлучения использовалась РЛС РПК-1 с зеркально-параболической антенной, имеющей ширину диаграммы направленности около 2 град по уровню 3 дБ, излучающая на частоте 9600 МГц ($\lambda = 3$ см) простой радиоимпульс длительностью 300 нс вертикальной поляризации. Антенная система и аппаратура приёмного пункта приведены в работах [8–10]. Пространственный разнос антенн большой и малой баз составляют 30λ и 6λ , соответственно. Антенная система состоит из антенных элементов, ориентированных на прием сигналов вертикальной и горизонтальной поляризации. Экспериментальные материалы представляют собой зависимости разности фаз между сигналами, принятыми пространственно-разнесёнными антеннами, от углового положения антенны ИРИ. В первом случае препятствием на трассе является кромка леса, частично перекрывающая первую зону Френеля, во втором – лесополоса, полностью перекрывающая трассу распространения.

Из результатов работы [8] следует, что устранение аномальных ошибок при разрешении неоднозначности фазовых измерений в несколько раз увеличивает точность фазового пеленгатора по отношению к точности пеленгования без устранения аномальных ошибок [8]. Неоднократные наблюдения экспериментальных данных показали, что данный метод устраняет не все пеленги с ано-

мальными ошибками, так как существуют такие импульсы, которые удовлетворяют условиям метода, но при этом содержат аномальные ошибки.

Второй метод устранения отсчетов пеленгов с аномальными ошибками основан на исключении аномальных ошибок, которые имеют место при интерференции сигналов, приводящей к искажению формы импульса. Заключается метод в выявлении импульсов со значительными внутриимпульсными флуктуациями разности фаз [9].

Согласно приведенной в [9] зависимости точности пеленгования от порогового значения СКО внутриимпульсной разности фаз существует значение, при котором наблюдаются наименьшие флуктуации пеленга. Наличие минимума в приведённой зависимости обусловлено тем, что при малом значении порогового СКО внутриимпульсной разности фаз количество импульсов, по которым рассчитывается пеленг, резко сокращается. Соответственно уменьшается объём выборки, по которому рассчитывается СКО пеленга, что приводит к его увеличению. Пороговое значение СКО носит частный характер и зависит от частоты сигнала, базы пеленгатора и характера трассы. Приведённая в [9] зависимость может быть использована в данной работе как оценочная. Результатом применения данного алгоритма, как и в предыдущем случае, является повышение точности пеленгования в несколько раз [9].

Разумным является совместное применение указанных выше методов с целью повышения точности пеленгования. Совместное применение алгоритмов заключается в последовательной обработке данных: сначала методом, основанным на разрешении неоднозначности, затем методом, основанным на измерении внутриимпульсных флуктуаций разности фаз. Результаты совместного применения рассматриваемых методов для устранения аномальных ошибок иллюстрируются экспериментальными зависимостями разности фаз между сигналами, принятыми пространственно-разнесёнными антеннами, и отсчетов пеленга от углового положения антенны ИРИ, полученных до и после использования приведённых выше методов.

На рис. 1 представлены указанные зависимости до и после использования алгоритмов устранения аномальных ошибок на трассе протяженностью 16 км. При вычислении пеленга до использования алгоритмов устранения аномальных ошибок использовались амплитудная селекция по уровню сигнала и устранение неоднозначности методом уточнения. Амплитудная селекция заключается в устранении из обработки импульсов, в которых отношение сигнал/шум менее 3 дБ.

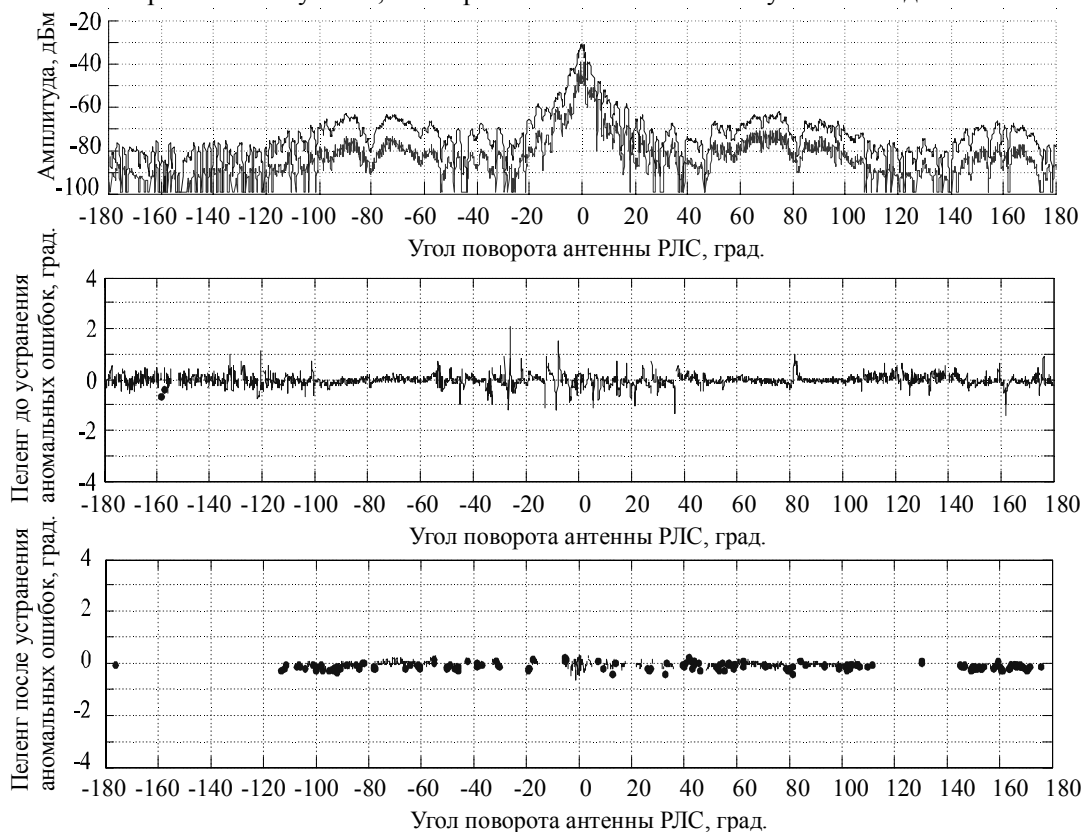


Рис. 1. Зависимости амплитуды в приемных каналах и пеленга до и после использования алгоритмов устранения аномальных ошибок. Трасса протяженностью 16 км, поляризация сигнала вертикальная, согласованный прием, 2008 г.

На рис. 2 представлены аналогичные зависимости, полученные на трассе протяженностью 19 км.

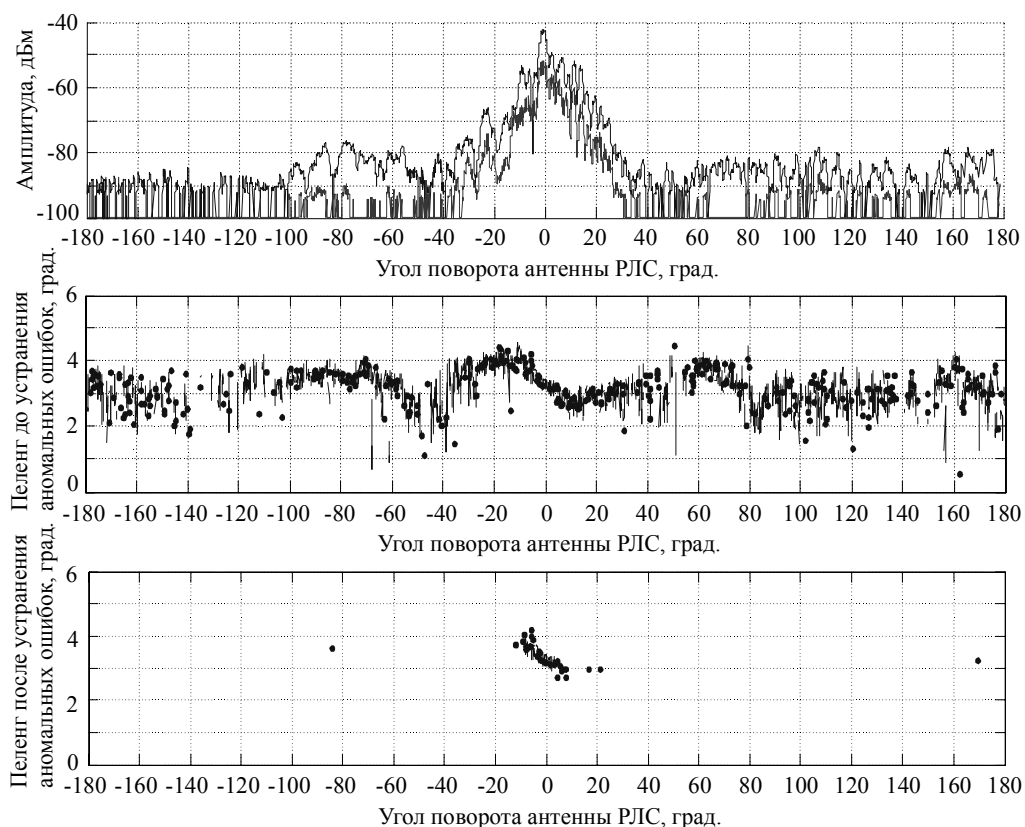


Рис. 2. Зависимости амплитуды в приёмных каналах и пеленга до и после использования алгоритмов устранения аномальных ошибок. Трасса протяженностью 19 км, поляризация сигнала вертикальная, согласованный приём, 2008 г.

Повышение точности в результате применения алгоритмов оценивается как отношение СКО пеленга до и после применения алгоритмов устранения аномальных ошибок. СКО пеленга до и после применения алгоритмов а также их отношение представлены в таблице. Также в таблице представлено количество отбракованных импульсов в процентном соотношении.

СКО пеленга до и после применения алгоритмов устранения аномальных ошибок

СКО пеленга, % отбракованных импульсов	Трасса 16 км		Трасса 19 км	
	Согласованный прием	Кроссовый прием	Согласованный прием	Кроссовый прием
До применения алгоритмов	0,26 / 6,3	0,27 / 6,0	0,59 / 50,3	0,57 / 47,8
После применения алгоритмов	0,06 / 68,2	0,07 / 91,6	0,28 / 97,6	0,28 / 97,5
Отношение СКО	4,3	3,8	2,1	2

Из таблицы видно, что применение алгоритмов устранения аномальных ошибок приводит к увеличению точности пеленгования, характеризуемой снижением СКО пеленга. На трассе протяженностью 16 км, где в боковых лепестках отношение сигнал/шум достаточно велико, из обработки исключается более 50% импульсов, при этом точность пеленгования возрастает более чем в 4 раза на основной поляризации и почти в 4 раза на кроссовой поляризации. На трассе протяженностью 28 км точность пеленгования увеличивается в два раза как на основной, так и на кроссовой поляризации. При этом достоверных импульсов остается чуть более 2%.

Таким образом, на основе представленных материалов можно сделать следующие выводы:

1. Совместное применение методов устранения аномальных ошибок, основанных на разрешении неоднозначности фазовых измерений и учёте внутриимпульсных искажений, приводит к увеличению точности пеленгования до 4 раз на полуоткрытых сухопутных трассах и до 2 раз на сухопутных трассах закрытого типа.

2. С увеличением протяжённости сухопутных трасс улучшение точности за счёт совместного применения алгоритмов менее эффективно из-за уменьшения амплитуды прямого сигнала по сравнению с суммарной амплитудой отражённых сигналов. В этом случае, пригодными для измерения являются пеленги, соответствующие области главного лепестка антенны РЛС.

3. Методы простоты в реализации, что позволяет применять их при обработке сигналов в режиме реального времени.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 12-08-31315 мол_а.

Литература

1. Башаринов А.Е. Об оптимальных параметрах многошкальных измерительных систем / А.Е. Башаринов, В.В. Акиндинов // Радиотехника и электроника. – 1963. – Т. 8, № 1. – С. 3–8.
2. Собцов Н.В. Об условиях применения двухшкальных измерительных систем // Радиотехника и электроника. – 1973. – Т. 16, № 3. – С. 636 – 638.
3. Тененбаум М.М. К вопросу о точности двухшкальных измерительных систем / М.М. Тененбаум, А.С. Созиев // Радиотехника и электроника. – 1968. – № 9. – С. 1591–1596.
4. Денисов В.П. Фазовые радиопеленгаторы / В.П. Денисов, Д.В. Дубинин. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2002. – 521 с.
5. Сергеев А.Г. Метрология: учеб. пособие для вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
6. Дубров А.М. Многомерные статистические методы. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 352 с.
7. Аникин А.С. Анализ зависимости разности фаз на антеннах фазового радиопеленгатора от ориентации направленной антенны источника радиоизлучения в условиях пересечённой местности / А.С. Аникин, В.П. Денисов, М.В. Крутиков, Н.А. Колядин // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 2 (28). – С. 5–14.
8. Денисов В.П. Исследование антенной системы фазового пеленгатора на наземных трассах / В.П. Денисов, Н.А. Колядин // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – № 1(19), ч. 1. – С. 7–14.
9. Колядин Н.А. Исследование возможности исключения аномальных ошибок в фазовых пеленгаторах, работающих по сканирующему источнику / Н.А. Колядин, В.П. Денисов // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР–2011». Томск, 12–15 мая, 2009 г. – Томск: В-Спектр, 2009. – Ч. 1. – С. 26–29.
10. Ровкин М.Е. Измерительный комплекс для исследования пространственно-временных искажений радиосигналов трёхсантиметрового диапазона на наземных трассах / М.Е. Ровкин, М.В. Крутиков, А.А. Мещеряков и др. // Изв. вузов России. Сер. Радиоэлектроника. – 2006. – № 6. – С. 7–11.

Аникин Алексей Сергеевич

Ассистент каф. радиотехнических систем (РТС) ТУСУРа

Тел.: 8-906-957-95-83

Эл. почта: rbk@sibmail.com

Денисов Вадим Прокопьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. РТС ТУСУРа

Тел.: 8-913-100-95-80

Эл. почта: dvp15@sibmail.com

Колядин Николай Александрович

Науч. сотрудник НИИ РТС ТУСУРа

Тел.: 8(3822) 41-38-89

Эл. почта: kolyadin.nik@bk.ru

Anikin A.S., Denisov V.P., Kolyadin N.A.

Analysis of joint methods of anormal error elimination in a phase direction finder, receiving signals from the scanning radio-emitter source on ground propagation paths

In the paper we considered the joint application of methods of anormal error elimination based on phase estimations of disambiguation in a two-base phase direction finder and taking into account intrapulse distortions in scanning emitter signals. The experiments showed the utility of joint methods of anormal error elimination in the task of quality improvement of accuracy of a two-base phase direction finder.

Keywords: phase finder, ambiguity resolution, abnormal bearing error, intrapulse processing.