

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ФАЗОВЫХ РАДИОПЕЛЕНГАТОРОВ

И.И. Заляцкая

LOCATION OPTIMIZATION OF ANTENNA ARRAY ELEMENTS OF PHASE DIRECTION FINDERS

I.I. Zalyatskaya

Представлены результаты исследования ошибок пеленгования корреляционно-интерферометрическими пеленгаторами путем моделирования на ЭВМ. Приведено исследование зависимости погрешности пеленгования от конфигурации антенной решетки и от величины фазовой неидентичности ее элементов.

Ключевые слова: радиопеленгатор, антенная решетка, погрешность пеленгования.

The results of bearing errors study of correlation interferometric direction finders by means of computer simulation are given in the article. The study of dependence of bearing errors on antenna array configuration as well as phase nonidentity value of its elements is shown.

Keywords: direction finder, antenna array, bearing error.

Введение

В пеленгаторах широко используются корреляционные методы оценки пеленга источника радиоизлучения, которые основаны на сравнении вектора сигналов от элементов антенной системы с вектором, рассчитанным или измеренным для данной системы при заданных пеленгах источника радиоизлучения. Скалярное произведение этих векторов называют коэффициентом корреляции или сверткой. Устройства, реализующие данный метод, называются корреляционно-интерферометрическими пеленгаторами (КИ-пеленгатор). Подробно данный алгоритм вычисления пеленга рассмотрен в [1].

Основой для вычисления пеленга в данном пеленгаторе являются измеренные пеленгационные характеристики.

База данных опорных характеристик зависит от значений углов прихода, изменяющихся в секторе пеленгования. Опорные пеленгационные характеристики являются прогнозом реальных характеристик в предположении, что $\Theta_1 \equiv \Theta_{\text{ист}}$. Они формируются до начала работы пеленгатора либо экспериментально на стенде для данного пеленгатора, либо в обобщенном виде на математической модели.

Корреляционный интеграл вычисляется следующим образом:

$$I(\Theta_1(k), \Theta, \lambda) = \frac{2}{N(N-1)} \left(I_1^2(\Theta_1(k), \Theta, \lambda) + I_2^2(\Theta_1(k), \Theta, \lambda) \right)^{1/2};$$

$$I_1^2(\Theta_1(k), \Theta, \lambda) = \left[\sum_{\substack{1 < j < i \\ i=1, N}} \cos \left(2\pi \frac{d_{ij}(\lambda)}{\lambda} \sin(\Theta) - 2\pi \frac{d_{ij}(\lambda)}{\lambda} \sin(\Theta_1(k)) + \Phi_{ij}(\lambda) \right) \right]^2;$$

$$I_2^2(\Theta_1(k), \Theta, \lambda) = \left[\sum_{\substack{1 < j < i \\ i=1, N}} \sin \left(2\pi \frac{d_{ij}(\lambda)}{\lambda} \sin(\Theta) - 2\pi \frac{d_{ij}(\lambda)}{\lambda} \sin(\Theta_1(k)) + \Phi_{ij}(\lambda) \right) \right]^2;$$

$$\Phi_{ij}(\lambda) = [\psi_A(i, \lambda) - \overline{\psi_A(i, \lambda)}] - [\psi_A(j, \lambda) - \overline{\psi_A(j, \lambda)}],$$

где Θ – угол прихода электромагнитной волны от источника излучения (ИИ); $\Theta_1(k)$ – массив углов, для которых вычисляются опорные характеристики; $\Phi_{ij}(\lambda)$ – функция фазовой неидентичности каналов приемника, обусловленная отличием фазовых ха-

характеристик каналов измерительного приемника пеленгатора; $d_{ij}(\lambda) = d_i(\lambda) - d_j(\lambda)$ – расстояние между элементами антенной решетки; N – количество элементов антенной решетки (АР), без учета опорного элемента.

Значение пеленга на ИИ определяется как максимальное значение $I(\Theta_1(k), \Theta, \lambda)$.

Погрешность пеленгования состоит из систематической и случайной составляющих, которые зависят от $\Phi_{ij}(\lambda)$.

В настоящей статье представлены результаты исследования ошибок пеленгования КИ-пеленгатора путем моделирования на ЭВМ.

Исследование погрешности пеленгования

Таким образом, основной задачей моделирования является исследование зависимости погрешности пеленгования:

- от конфигурации АР: числа элементов N и длины базы антенной решетки d . Интерес представляет рассмотрение линейных АР с ненаправленными антенными элементами;

- от величины фазовой неидентичности элементов антенной решетки $\Delta\psi_{a_{ij}}$, точнее от $\sigma = (M[(\Delta\psi_{a_{ij}})^2])^{1/2}$.

Зависимость ошибки определения пеленга от базы АР

Для определения зависимости ошибки пеленгования от длины базы зафиксируем количество элементов антенной решетки – $N = 7$. На рис. 1 представлены зависимости ошибки пеленгования от отношения d/λ при величине фазовой неидентичности $\sigma = 25^\circ$.

Систематическая составляющая погрешности пеленгования мала (составляет менее $0,5^\circ$) и может быть опущена в дальнейших рассуждениях (рис. 1а). Таким образом, основной вклад в по-

грешность определения пеленга будет вносить случайная составляющая.

С увеличением длины базы АР погрешность пеленгования падает. При фиксированной величине базы антенной решетки погрешность пеленгования с ростом длины волны будет увеличиваться.

Можем принять, что погрешность пеленгования зависит не от конкретных значений длин волн и длин баз антенных решеток, а лишь от их соотношения, так как кривые в равных точках d/λ отличаются не более чем на $0,5^\circ$ (рис. 1б).

Влияние числа элементов на ошибку определения пеленга

В качестве примера приведен случай, когда параметры антенной решетки имеют следующие значения: длина базы $APd = 30$ см; СКО фазовой неидентичности каналов приемника $\sigma = 15^\circ$.

Погрешность пеленгования обеспечивает точность 3° , в случае, если АР состоит из 6 и более элементов, при этом ошибка почти не изменяется с дальнейшим увеличением числа элементов (рис. 2). Отсюда можно сделать вывод: оптимальное количество элементов АР равно 6.

Зависимость погрешности пеленгования от фазовой неидентичности каналов

В качестве обобщения приведем семейство зависимостей ошибки пеленгования от отношения d/λ при различных значениях СКО фазовых неидентичностей. Выберем АР из 7 элементов, без учета опорного элемента. Зависимости приведены на рис. 3.

Таким образом, во всем рассматриваемом частотном диапазоне величина погрешности пеленгования не превышает 3° , если фазовая неидентичность каналов приемника составляет менее чем 15° . При отношении d/λ больше 3 значения погрешности – менее 2° даже при значениях СКО 25° .

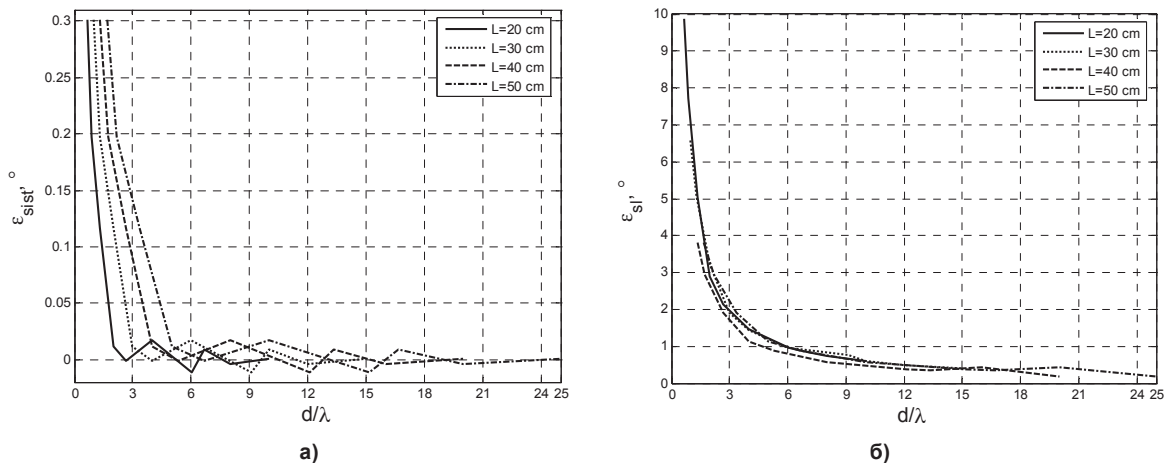


Рис. 1. Зависимость систематической (а) и случайной (б) ошибок определения пеленга от отношения d/λ , для различных баз АР

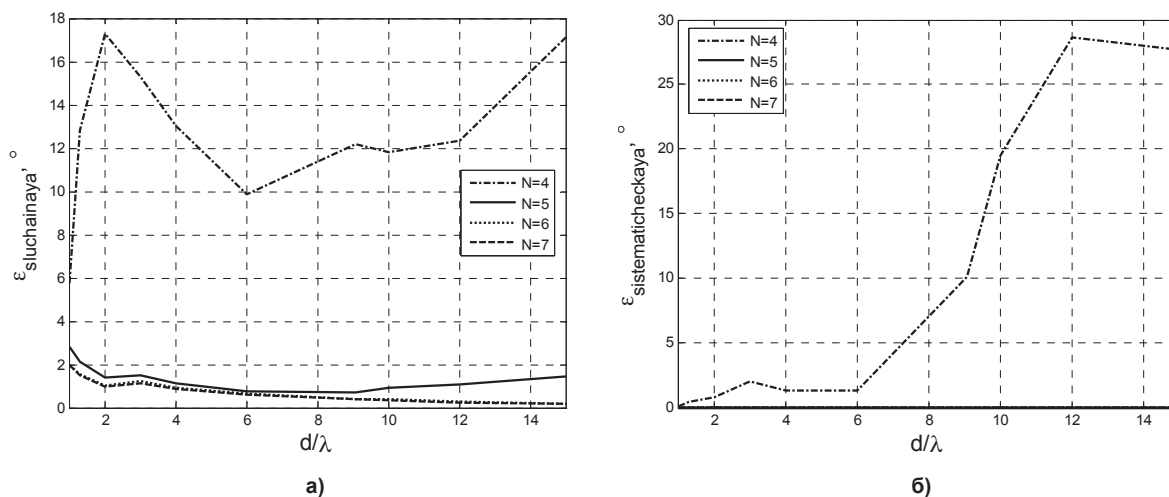


Рис. 2. Зависимость систематической (а) и случайной (б) ошибок от отношения d/λ , для различного числа элементов АР

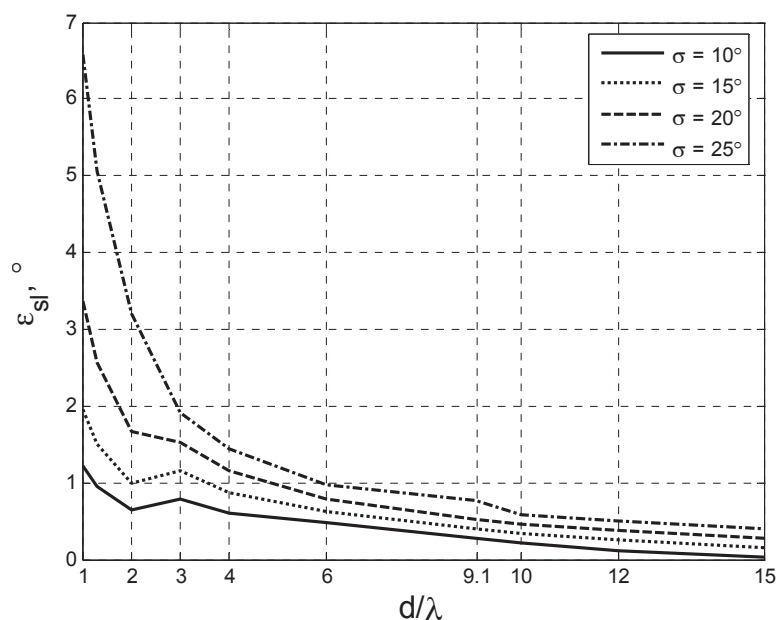


Рис. 3. Зависимость ошибки пеленгования от отношения d/λ при разной величине фазовой неидентичности каналов приемника-пеленгатора

При увеличении СКО неидентичности каналов на 5° ошибка пеленгования растет не более чем на $0,5^\circ$, при отношении d/λ больше 3. При меньших значениях погрешность пеленгования тем больше, чем больше длина волны.

Заключение

В результате данного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальное количество элементов антенной решетки равно 6, меньшее количество повлечет увеличение погрешности более чем на 3° ,

большее количество не приведет к существенным улучшениям.

2. Погрешность пеленгования составляет менее 3° при значениях СКО неидентичности не более 15° .

Литература

1. Рембовский, А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 492 с.

Поступила в редакцию 29 мая 2012 г.