

Для цитирования: Асланов Г.К., Асланов Т.Г., Казибеков Р.Б., Тетакаев У.Р. Оценка ошибок, вызываемых выходом из строя элементов антенной системы аэродромного автоматического радиопеленгатора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45(2):94-103. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-94-103

For citation: Aslanov G.K., Aslanov T.G., Kazibekov R.B., Tetakaev U.R. Evaluation of errors caused by failure of antenna system elements in an aerodrome automatic radio direction finder. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (2):94-103. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-94-103

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.396

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-94-103

ОЦЕНКА ОШИБОК, ВЫЗЫВАЕМЫХ ВЫХОДОМ ИЗ СТРОЯ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ АЭРОДРОМНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО РАДИОПЕЛЕНГАТОРА

Асланов Г.К.¹, Асланов Т.Г.², Казибеков Р.Б.³, Тетакаев У.Р.⁴

¹⁻⁴Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻⁴367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

¹e-mail: uits@dstu.ru, ²e-mail: tabasik@gmail.com, ³e-mail: kazib.rus11@mail.ru

⁴e-mail: umar_tetakaev@mail.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является разработка математической модели для определения ошибки пеленгования аэродромного автоматического радиопеленгатора (АРП) в зависимости от положения неисправного вибратора относительно пеленга на источник радиоизлучения. **Метод.** Для определения ошибки пеленгования в зависимости взаимного расположения неисправного вибратора АРП и пеленга на источник радиоизлучения используется метод разложения ступенчатой выборки фаз сигналов в ряд. Фурье. Ошибка пеленгования определяется как разность суммы первых гармоник разложения в ряд Фурье ступенчатой огибающей выборки фаз сигналов исправной и неисправной антенных систем. **Результат.** В работе получена математическая модель для определения ошибки пеленгования аэродромного автоматического радиопеленгатора (АРП), в зависимости от взаимного расположения неисправного вибратора и пеленга на источник радиоизлучения. Получен график изменения ошибки пеленгования АРП в зависимости от места положения вышедшего из строя вибратора и пеленга на источник радиоизлучения. Показано, что в АРП, работающем в квазидоплеровском режиме, выход из строя вибраторов, расположенных вдоль пеленга на источник радиоизлучения не приводит к появлению ошибки пеленгования. В АРП же, работающем в дифференциально-фазовом режиме, наоборот, выход из строя вибраторов, расположенных вдоль пеленга на источник радиоизлучения, приводит к появлению максимальной ошибки пеленгования, которая может достигать величины $3,75^{\circ}$. **Вывод.** При работе аэродромного автоматического радиопеленгатора (АРП) в квазидоплеровском режиме выход из строя вибраторов, расположенных вдоль пеленга на источник радиоизлучения не приводит к появлению ошибки пеленгования и, наоборот, при работе АРП в дифференциально-фазовом режиме это приводит к появлению максимальной ошибки пеленгования, которая может достигать величины $3,75^{\circ}$.

Ключевые слова: автоматический радиопеленгатор, антенная система, ошибки пеленгования, неисправность антенной системы

TECHNICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

EVALUATION OF ERRORS CAUSED BY FAILURE OF ANTENNA SYSTEM ELEMENTS IN AN AERODROME AUTOMATIC RADIO DIRECTION FINDER

Gaidarbek K. Aslanov¹, Tagirbek G. Aslanov², Rustam B. Kazibekov³,
Umar R. Tetakaev⁴

¹⁻⁴Daghestan State Technical University,

¹⁻⁴70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: uits@dstu.ru, ²e-mail: tabasik@gmail.com, ³e-mail: kazib.rus11@mail.ru

⁴e-mail: umar_tetakaev@mail.ru

Abstract Objectives The aim of the study is to develop a mathematical model for determining the direction-finding error of an aerodrome automatic direction finder (ADF), depending on the position of the defective vibrator relative to the source of radio emission. **Methods** To determine the direction-finding error depending on the mutual location of the defective ADF vibrator and direction finding towards the radio source, the method of Fourier series expansion of step-by-step sampling of the signal phases is used. The direction-finding error is defined as the difference in the sum of the first harmonics of the phase sample's stepped envelope Fourier expansion of the fault-free and defective antenna systems. **Results** In this work, a mathematical model is obtained for determining the direction-finding error of the aerodrome automatic direction finder (ADF), depending on the mutual position of the defective vibrator and direction finding towards the radio source. The graph of the alteration of the ADF direction finding error is obtained depending on the position of the defective vibrator and the direction finding towards the source of radio emission. It is shown that during ADF operating in the quasi-Doppler mode, the failure of the vibrators located along the direction finding towards the source of radio emission does not lead to an error in direction finding. Conversely, during ADF operating in the differential-phase mode, the failure of the vibrators located along the direction finding towards the source of radio emission leads to a maximum direction-finding error, reaching 3.75ϵ . **Conclusion** When an aerodrome automatic direction finder (ADF) operates in a quasi-Doppler mode, the failure of the vibrators located along the direction finding towards the source of radio emission does not lead to an error in direction finding and, conversely, when the ADF operates in differential phase mode, this results in a maximum direction-finding error of 3.75ϵ .

Keywords: automatic direction finder, antenna system, direction finding errors, antenna system malfunction

Введение Аэродромные автоматические радиопеленгаторы (АРП) должны обладать высокой надежностью, и, в частности, каждый канал пеленгования должен обеспечивать непрерывную круглосуточную работу без отказов в течение 2000 часов. В АРП наименее ненадежным узлом является антенная система, что объясняется жесткими условиями ее эксплуатации. Выход из строя любого из элементов антенной системы приводит к появлению значительных (иногда - аномальных) ошибок в определении пеленга на источник радиоизлучения. Причиной возникновения ошибок является некорректное восстановление последетекторного сигнала, вызванного выходом из строя вибратора антенной системы, что в свою очередь является следствием конечного количества неподвижных элементов антенной системы и дискретного характера электронного сканирования.

Представляет интерес определение ошибки пеленгования, в зависимости от положения неисправного вибратора антенной системы относительно пеленга на источник радиоизлучения (при условии корректного восстановления последетекторного сигнала). В статье составлена математическая модель для определения ошибки пеленгования, в зависимости от положения неисправного вибратора и осуществлена его программная реализация. На основе разработанной программы получены кривые зависимости ошибки пеленгования от взаимного расположения

неисправного вибратора антенной и пеленга на источник радиоизлучения.

Методы исследования. Определение пеленга на воздушное судно (ВС) в АРП осуществляется по значениям разностей фаз между сигналами кольцевых и центрального вибратора антенной системы (АС), которые для квазидоплеровского режима работы определяются выражением:

$$\varphi_i = (2\pi R / \lambda) \cos \beta \cos(\theta - 2\pi(i - 1) / N), \quad i=1, N \quad (1)$$

где: R – радиус антенной решетки,

i – номер временного интервала, в течение которого коммутируется i -й элемент антенной системы,

N – количество элементов антенной системы.

λ – длина волны пеленгуемого сигнала;

β – угол места воздушного судна;

θ – пеленг на воздушное судно

Из-за дискретности процесса электронной коммутации вибраторов, огибающая выборки фаз приобретает вид ступенчатого сигнала. При этом пеленг определяется по разности фаз первой гармоники выборки фаз и опорным сигналом, соответствующей пеленгу, равному нулю. В связи с тем, что выход из строя любого из элементов антенной системы приводит к появлению значительных ошибок в определении пеленга на источник радиоизлучения, представляет интерес определение ошибки пеленгования, в зависимости от положения неисправного вибратора антенной системы относительно пеленга на источник радиоизлучения.

Постановка задачи. Для определения зависимости ошибки пеленгования от положения неисправного вибратора используется свойство линейности преобразования Фурье, в соответствии с которым первая гармоника выборки фазовой огибающей равна сумме первых гармоник составляющих ее элементарных сигналов.

Методы исследования Так как, пеленг на ВС определяется начальной фазой огибающей выборки разностей фаз сигналов АС, то оценить влияние отказа отдельных вибраторов на результат пеленгования можно осуществить сравнением изменения начальной фазы огибающей выборки разностей фаз сигналов при полностью исправной АС и при неисправном i -м вибраторе. На рис.1 приведена выборка действительных значений разностей фаз сигналов между кольцевыми и центральным вибраторами АС, с радиусом 1,6 м, при пеленговании передатчика, работающего на азимуте 0^0 , на частоте 250 мГц.

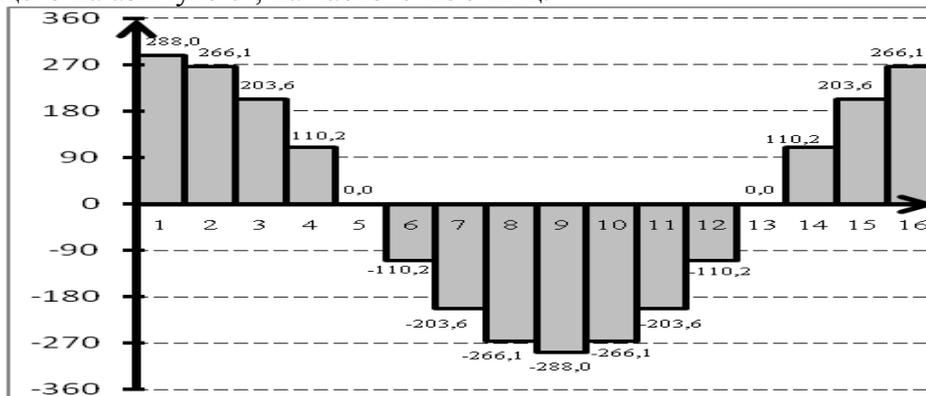


Рис.1. Выборка разностей фаз сигналов между кольцевыми и центральным вибраторами АС

Fig.1. A sample of the phase difference of the signals between the ring and center speakers АС

Однако в отечественных радиопеленгаторах для измерения разностей фаз сигналов между кольцевыми и центральным вибратором используются фазовые детекторы (ФД) с линейной характеристикой в диапазоне $0 \div 360^0$, что приводит к возникновению фазовой неоднозначности.

Математически, процесс возникновения фазовой неоднозначности в общем виде может быть представлен следующим образом:

$$\psi_i = \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \frac{\varphi_i}{2\pi} \right\} 2\pi \text{ если } \varphi_i > 0 \\ \left\{ \frac{\varphi_i}{2\pi} \right\} 2\pi + 2\pi \text{ если } \varphi_i < 0 \\ 0 \text{ если } \varphi_i = 0 + \\ 2\pi \text{ если } \varphi_i = 0 - \end{array} \right\} \quad (1)$$

где: $\{ \}$ означает взять дробную часть;

ψ_i – разность фаз между i -м кольцевым и центральным вибраторами антенной системы с неоднозначностью, измеренная фазовым детектором;

φ_i – разность фаз между i -м кольцевым и центральным вибраторами антенной системы без неоднозначности.

Сказанное поясняется рис.2.

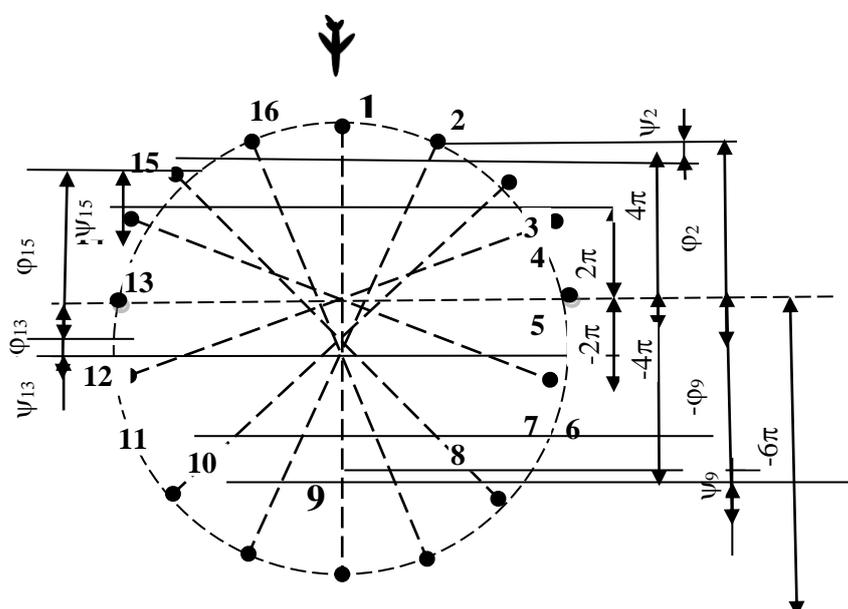


Рис.2. К пояснению возникновения фазовой неоднозначности на выходе фазового детектора
Fig.2. To clarify the occurrence of phase ambiguity at the output of the phase detector

Из рис.2 видно, что измеренные значения разностей фаз вибраторов 2, 9, 13, 15, соответственно, равны $\psi_2, \psi_9, \psi_{13}, \psi_{15}$, а действительные значения фаз, соответственно, равны $\varphi_2 = 4\pi + \psi_2, -\varphi_9 = -6\pi + \psi_9, \varphi_{13} = -2\pi + \psi_{13}, \varphi_{15} = 2\pi + \psi_{15}$

На рис. 3 приведены измеренные ФД значения разностей фаз (с неоднозначностью), соответствующие выборке приведенной на рисунке 1, при наличии помех на 5 и 13 вибраторах антенной системы, равных, соответственно -15° и $+15^\circ$.

Как видно из приведенных на рис.3 гистограмм, на выходе фазового детектора отсутствуют отрицательные значения разностей фаз. При этом, ФД при измерении разностей фаз между пятым кольцевым и центральным вибраторами вместо -15° выдает плюс 345° , а для 13-го вибратора выдаст плюс 15° .

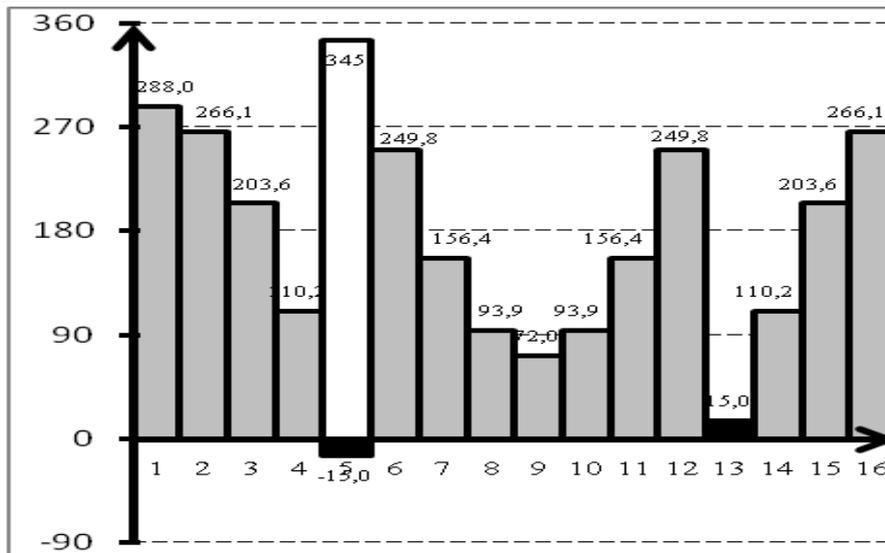


Рис.3. Выборка измеренных ФД разностей фаз сигналов между кольцевыми и центральным вибраторами АС

Fig.3. A sample of measured PD of the phase difference between the ring and central speakers of the speakers

Как видно из рис. 3, фаза вибратора, расположенного противоположно исходного, может быть вычислена по формуле:

$$\varphi_{i+\frac{N}{2}} = 360^{\circ} - \varphi_i \quad (2)$$

где: φ_i – фаза исходного вибратора;

$\varphi_{i+\frac{N}{2}}$ – фаза вибратора, расположенного противоположно исходного.

Это обстоятельство может быть использовано для восстановления значения фазы вышедшего из строя вибратора.

Так как, пеленг на ВС определяется начальной фазой огибающей выборки разностей фаз сигналов АС, то оценить влияние отказа отдельных вибраторов на результат пеленгования можно осуществить сравнением изменения начальной фазы огибающей выборки разностей фаз сигналов при полностью исправной АС и при неисправном вибраторе.

Согласно свойству линейности преобразования Фурье, первая гармоника фазовой огибающей равна сумме первых гармоник, составляющих ее элементарных сигналов.

В дальнейшем при моделировании использовалась выборка фаз сигналов, приведенная на рис. 4.

Для нахождения первых гармоник импульсов заметим, что длительность всех импульсов одинакова и равна τ , период повторения равен T , а скважность 16. Первая гармоника разложения в ряд Фурье периодического сигнала определяется по формулой:

$$s_1 = a_1 \cos(\omega t) + b_1 \sin(\omega t) \quad (3)$$

где: a_1, b_1 – коэффициенты ряда Фурье, определяемые по формулам:

$$a_i = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \cos(i \omega t) dt \quad i = 1, 2 \dots \infty \quad (4)$$

$$b_i = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \sin(i \omega t) dt \quad i = 1, 2, \dots, \infty \quad (5)$$

Заметим, что для всех последовательностей изображенных на рисунке 1 частота первой гармоники одинакова и равна $2\pi/T$.

Для первого импульса, подставляя в формулы 4 и 5 пределы интегрирования $(-\tau/2 \dots \tau/2)$, получим

$$a_{11} = \frac{2A_1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \quad (6)$$

$$b_{11} = 0$$

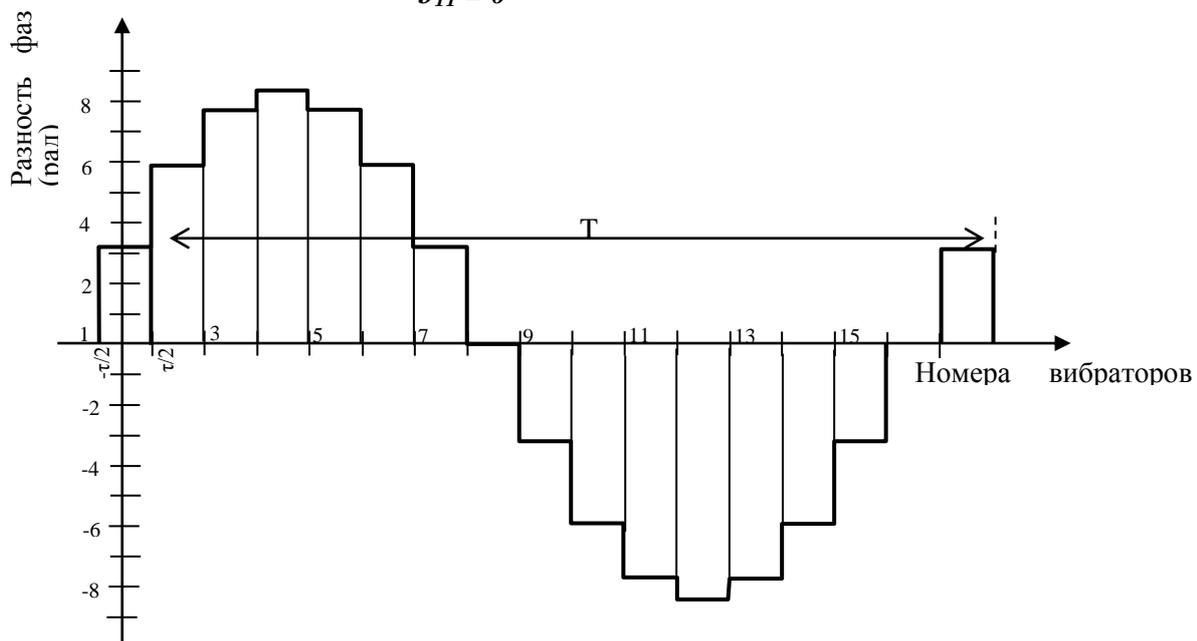


Рис.4. Выборка разностей фаз сигналов между кольцевыми и центральным вибраторами АС, используемые при моделировании

Fig.4. A sample of the phase difference of the signals between the ring and central speakers of the speakers used in the simulation

Первая гармоника импульса равна:

$$S_{11} = \frac{2A_1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \cos \omega t \quad (7)$$

Для второго импульса, подставляя пределы интегрирования $(-\tau/2+T/16 \dots \tau/2+T/16)$ и амплитуду A_2 , получим:

$$a_{21} = \frac{2A_2}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \cos\left(\frac{\pi}{8}\right) \quad (8)$$

$$b_{21} = \frac{2A_2}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \quad (9)$$

Первая гармоника второй последовательности равна:

$$\frac{2A_2}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \cos\left(\frac{\pi}{8}\right) \cos \alpha t + \frac{2A_2}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \sin(\alpha t) \quad (10)$$

Производя аналогичные вычисления для i-х импульсов получим:

$$a_{i1} = \frac{2A_i}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \cos\left(\frac{(i-1)\pi}{8}\right) \quad (11)$$

$$b_{i1} = \frac{2A_i}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \sin\left(\frac{(i-1)\pi}{8}\right) \quad (12)$$

Первая гармоника i-го импульса определяется:

$$\frac{2A_i}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \cos\left(\frac{(i-1)\pi}{8}\right) \cos \alpha t + \frac{2A_i}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\tau}{T}\right) \sin\left(\frac{(i-1)\pi}{8}\right) \sin \alpha t \quad (13)$$

На рис. 5 изображены первые гармоники импульсов в виде векторов с амплитудами и начальными фазами, полученными с помощью приведенных выше формул.

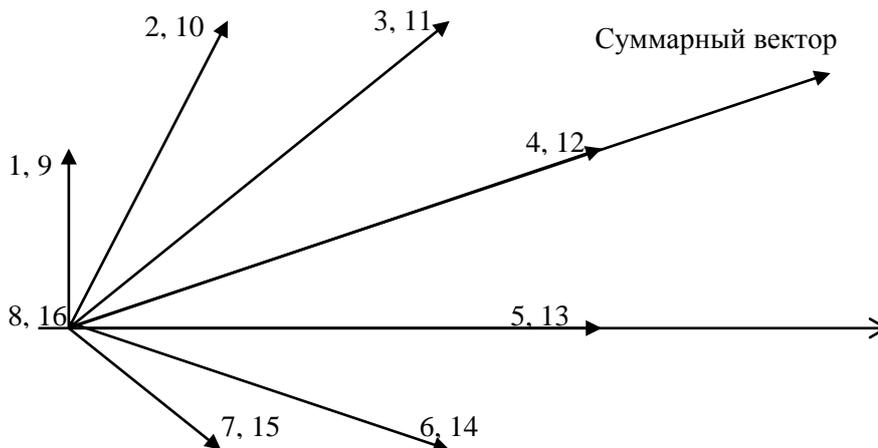


Рис.5. Векторное представление первых гармоник выборки разностей фаз сигналов АС в виде векторной диаграммы

Fig.5. Vector representation of the first harmonics of a sample of the phase difference of the AC signals in the form of a vector diagram

Числа на концах векторов соответствуют номерам вибраторов. Из векторной диаграммы следует, что импульсы с максимальной амплитудой (вibrator №4 и №12 на рис. 4) обладают первыми гармониками, совпадающими по фазе с суммарным сигналом.

Это означает, что их отказ приведет к изменению амплитуды первой гармоники суммарного сигнала, но не изменяет его фазу, что говорит о не влиянии отказа этих вибраторов на значение пеленга (т.е. выход из строя вибраторов расположенных ортогонально значению пеленга не влияет на точность определения пеленга). Данный вывод подтверждается результатами проведенного моделирования (рис. 6).

На рис.6 сплошной линией показан сигнал, являющийся суммой первых гармоник всех 16 импульсов, а пунктирной – сигнал, являющийся суммой всех импульсов, кроме 4-го и 12-го.

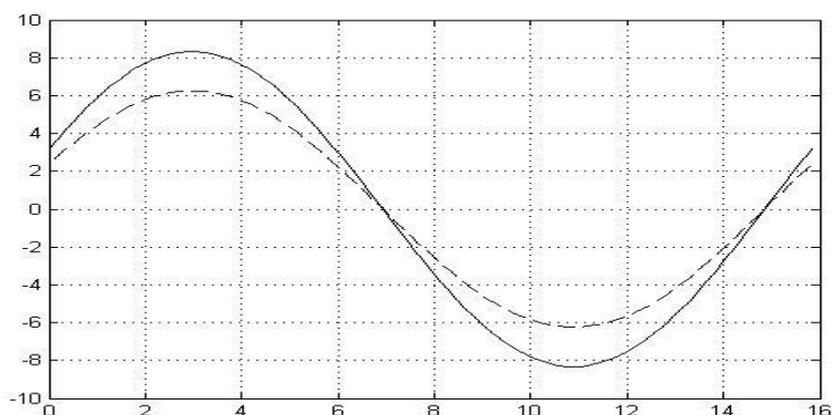


Рис.6. Влияние местоположения неисправного вибратора на точность определения пеленга
Fig.6. Influence of location of faulty vibrators on accuracy of bearing determination

На рис.7 приведены результаты моделирования зависимости ошибки пеленгования при отказе вибраторов антенной системы при различных значениях пеленгов для шестнадцати вибраторного АРП, работающего в метровом диапазоне волн.

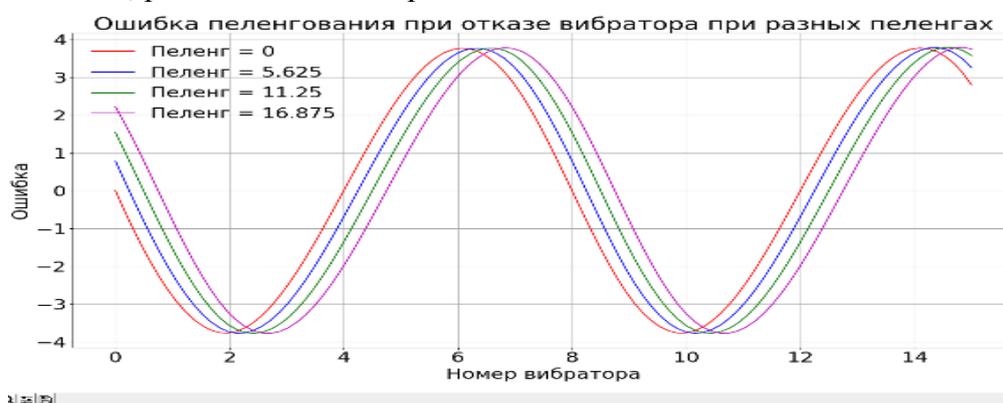


Рис.7. Результаты моделирования зависимости ошибки пеленгования при отказе вибраторов антенной системы при различных значениях пеленгов
Fig.7. The results of the simulation of the dependence of the direction finding error in case of failure of the antenna system vibrators at different values of bearings

Обсуждение результатов. В работе разработана математическая модель для определения ошибки пеленгования, в зависимости от взаимного расположения неисправного вибратора и пеленга на источник радиоизлучения. Получен график изменения ошибки пеленгования АРП в зависимости от места положения вышедшего из строя вибратора и пеленга на источник радиоизлучения.

В АРП, работающем в квазидоплеровском режиме, выход из строя вибраторов, расположенных вдоль пеленга на источник радиоизлучения не приводит к появлению ошибки пеленгования. В АРП же, работающем в дифференциально-фазовом режиме, выход из строя вибраторов, расположенных вдоль пеленга на источник радиоизлучения, приводит к появлению максимальной ошибки пеленгования, которая может достигать $3,75^{\circ}$.

Угловое расстояние между соседними вибраторами равно $22,5^{\circ}$. В работе производилось вычисление ошибок пеленгования для дискретных значений пеленга на источник радиоизлучения 0° , $5,625^{\circ}$, $11,25^{\circ}$, $16,875^{\circ}$. Для следующей пары вибраторов в соответствии с принципом относительности для пеленгов $22,5^{\circ}$, $28,125^{\circ}$, $33,75^{\circ}$, $39,375^{\circ}$, значения ошибок пеленгования будут соответственно такими же, как и для 0° , $5,625^{\circ}$, $11,25^{\circ}$, $16,875^{\circ}$.

Вывод. При работе АРП в квазидоплеровском режиме выход из строя вибраторов, расположенных вдоль пеленга на источник радиоизлучения не приводит к появлению ошибки пеленгования и, наоборот, при работе же АРП в дифференциально-фазовом режиме это приводит к появлению максимальной ошибки пеленгования, которая может достигать величины $3,75^{\circ}$

Библиографический список:

1. Асланов Г.К. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук на тему: "Прикладные методы обеспечения точностных характеристик АРП и АРПС". Московский государственный технический университет гражданской авиации. Москва 1998г.
2. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Анализ причин возникновения аномальных ошибок в квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторах // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия Информатика Телекоммуникации Управление, №2. СПб: 2009.
3. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Выход из строя элементов антенной системы АРП как причина возникновения аномальной ошибки пеленгования // Сборник тезисов докладов XXX итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ: тезисы докладов. Часть I. Технические науки – Махачкала: ДГТУ, 2009.
4. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Анализ ошибок автоматических радиопеленгаторов, вызываемых выходом из строя элементов антенной системы // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2008. - №11.
5. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Улучшение технических характеристик АРП, путем его интеллектуализации // Современные информационные технологии в проектировании, управлении и экономике: материалы IV Всероссийской конференции по актуальным проблемам внедрения и развития сектора IT-технологий, 22-25 сент. 2009 г. - Махачкала: ДГТУ, 2009.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1977. .
7. Кукес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации. М., "Сов. радио", 1964г.
8. Саидов А.С., Тагилаев А.Р., Алиев Н.М., Асланов Г.К. Проектирование фазовых автоматических радиопеленгаторов. Москва, Радио и связь, 1997 г.
9. Unsett U. VHF Direction Finders control shipping in North Sea and Atlantic. News from Rohde & Schwarz (1989) No.124, pp.36...37.
10. Direction finding of narrowband autoregressive sources by antenna arrays /Ziskind Ian, Bar-Ness Yeheskel // Antennas and Propag.: Int. Symp. Dig."Merg. Technol. 90's", Dallas, Tex., May 7-11, 1990. Vol. 4. - Piscataway (N.J.),1990.
11. Direction-of-arrival estimation for narrow band coherent and incoherent sources in the presence of unknown noise fields / Wang Fengzhen // Res. IEEE Int. Radar Conf., Arlington, Va, May 7-10, 1990. - New York (N. Y.), 1990.
12. Johnson,J.: R&S direction finders for Her Majesty's Coastguard. News from Rohde & Schwarz (1985) No.109, pp.36-37.
13. Mutual coupling effects on phase-only direction finding / Weiss Anthony J., Friedlander Benjamin // IEEE.Trans. Antennas and Propag. - 1992. - 40, N5.
14. Performance analysis of direction finding using lag redundancy averaging /Doron Miriam A., Weiss Anthony J., //IEEE Trans. Signal Process. - 1993. - 41, N3.
15. Precision DF safeguards North-Sea shipping. News from Rohde & Schwarz (1985) No.109, pp.35-36.

References:

1. Aslanov G.K. Prikladnye metody obespecheniya tochnostnykh kharakteristik ARP i ARPS. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet grazhdanskoi aviatsii. Moskva. 1998. [Aslanov G.K. Applied methods for ensuring the accuracy characteristics of ADF and ADFS. Doctor of technical sciences thesis. The Moscow State Technical University of Civil Aviation. Moscow. 1998. (in Russ.)]
2. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Analiz prichin vozniknoveniya anomal'nykh oshibok v kvazidoplerovskikh avtomaticheskikh radiopelengatorakh. Nauchno-tekhnicheskije vedomosti SPbGPU, seriya "Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie". 2009;2:87-93. [Aslanov G.K., Gasanov O.I. Analysis of the causes of abnormal errors in quasi-Doppler automatic direction finders. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems.2009;2:87-93 (in Russ.)]
3. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Vykhod iz stroya elementov antennoi sistemy ARP kak prichina vozniknoveniya anomal'noi oshibki pelengovaniya. Sbornik tezisov dokladov XXX itogovoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii prepodavatelei, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU. Chast' I. Tekhnicheskije nauki. Makhachkala: DGTU; 2009. S.95-96. [Aslanov G.K., Gasanov O.I. Failure of the elements of the ADF antenna system as a cause of an abnormal direction finding error. Abstracts of XXX final scientific and technical conference of teachers, employees, post-graduate students and students of DSTU. Part I. Technical sciences. Makhachkala: DGTU; 2009. P.95-96. (in Russ.)]

4. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Analiz oshibok avtomaticheskikh radiopelengatorov, vyzvaemykh vykhodom iz stroya elementov antennoi sistemy. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2008;11:91-96. [Aslanov G.K., Gasanov O.I. The analysis of the automatic radio direction finders' errors caused by the aerial system elements' failure. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2008;11:91-96. (in Russ.)]
5. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Uluchshenie tekhnicheskikh kharakteristik ARP, putem ego intellektualizatsii. Materialy IV Vserossiiskoi konferentsii po aktual'nym problemam vnedreniya i razvitiya sektora IT-tehnologii "Sovremennye informatsionnye tekhnologii v proektirovanii, upravlenii i ekonomike". Makhachkala: DGTU; 2009. С. 72-80. [Aslanov G.K., Gasanov O.I. Improvement of technical characteristics of ADF by its intellectualisation. Materials of IV All-Russian conference on topical problems of the introduction and development of the IT-Technology Sector "Modern Information Technologies in Design, Management and Economics". Makhachkala: DSTU; 2009. P. 72-80. (in Russ.)]
6. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov). M.: Nauka; 1977. [Korn G., Korn T. Handbook of mathematics (for scientists and engineers). M.: Nauka; 1977. (in Russ.)]
7. Kukes I.S., Starik M.E. Osnovy radiopelengatsii. M.: Sov. radio; 1964. [Kukes I.S., Starik M.E. Fundamentals of radio direction finding. M.: Sov. radio; 1964. (in Russ.)]
8. Saidov A.S., Tagilayev A.R., Aliev N.M., Aslanov G.K. Proektirovanie fazovykh avtomaticheskikh radiopelngatorov. Moskva: Radio i svyaz'; 1997. [Saidov A.S., Tagilayev A.R., Aliev N.M., Aslanov G.K. Design of phase automatic direction finders. Moscow: Radio i svyaz'; 1997. (in Russ.)]
9. Unsett U. VHF Direction Finders control shipping in North Sea and Atlantic. News from Rohde & Schwarz. 1989;124:36 - 37.
10. Ziskind I., Bar-Ness Y. Direction finding of narrowband autoregressive sources by antenna arrays. Antennas and Propag.: Int. Symp. Dig."Merg. Technol. 90's". Vol. 4. Dallas: Piscataway (N.J.);1990.
11. Fengzhen W. Direction-of-arrival estimation for narrow band coherent and incoherent sources in the presence of unknown noise fields. Res. IEEE Int. Radar Conf. Arlington. New York (N. Y.); 1990.
12. Johnson J. R&S direction finders for Her Majesty's Coastguard. News from Rohde & Schwarz. 1985;109:36-37.
13. Weiss A.J., Friedlander B. Mutual coupling effects on phase-only direction finding. IEEE.Trans. Antennas and Propag. 1992;40(5).
14. Doron M.A., Weiss A.J. Performance analysis of direction finding using lag redundancy averaging. IEEE Trans. Signal Process. 1993;41(3).
15. Precision DF safeguards North-Sea shipping. NewsfromRohde&Schwarz. 1985;109:35-36.

Сведения об авторах:

Асланов Гайдарбек Тагирбекович – доктор технических наук, профессор, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Асланов Тагирбек Гайдарбекович – кандидат технических наук, докторант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Казибеков Рустам Бидирханович – аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Тетакаев Умар Резванович – аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники.

Information about the authors.

Gaidarbek K.Aslanov – Dr.Sci. (Technical), Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Tagirbek G.Aslanov – Cand. Sci. (Technical), Doctoral cand., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Rustam B.Kazibekov – Graduate Student, Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Umar R.Tetakaev – Graduate Student, Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 26.02.2018.

Принята в печать 29.04.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 26.02.2018.

Accepted for publication 29.04.2018.