



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-126-8-22-29>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.396.98

РАБОТА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ СИГНАЛА, СОЗДАВАЕМОГО КОГЕРЕНТНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ДВУХ ТОЧЕК ПРОСТРАНСТВА

ДЯТКО А.А.¹, КОСТРОМИЦКИЙ С.М.², ШУМСКИЙ П.Н.³, ДАВЫДЕНКО И.Н.⁴

¹Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь
^{2,3,4}Республиканское научно-производственное унитарное предприятие «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 19 апреля 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

Аннотация. Цель работы, результаты которой представлены в рамках статьи, заключалась в анализе работы радиолокационной угломерной системы в условиях сигнала, формируемого когерентными источниками излучения из двух точек пространства (помеха cross-eye). Для достижения поставленной цели в представленной работе выполнено исследование зависимости настройки параметров угломерной системы от соотношения параметров постановщика помехи cross-eye и самого измерителя угловых координат. В качестве угломерной системы использовался измеритель угловых координат, функционирующий по методу амплитудного мгновенного сравнения сигналов. Исследования проводились методом теоретического анализа влияния параметров диаграммы направленности антенной системы измерителя на результат измерения углового положения виртуального источника излучения. В результате получено уравнение, связывающее угловое положение виртуального источника излучения с параметрами диаграммы направленности антенной системы измерителя, форма которой аппроксимировалась гауссовой кривой. Для иллюстрации процесса функционирования угломерной системы при конкретных значениях параметров поступающих на его вход сигналов использовался метод математического моделирования. Моделирование выполнялось для заданных параметров, определяющих как положение источников излучения в пространстве, так и алгоритм функционирования измерителя угловых координат. На основе полученных результатов показано, что измеритель угловых координат имеет три стационарных состояния, отвечающих положению виртуального источника излучения в пространстве. Показано, что только два из этих состояний являются устойчивыми. Последнее означает, что в зависимости от начальных условий измеритель угловых координат может зафиксировать одно из двух возможных положений виртуального источника излучения в пространстве. Научная новизна рассматриваемой работы заключается в установлении связи между положением виртуального источника излучения в пространстве и параметрами измерителя угловых координат.

Ключевые слова: электромагнитная волна, фазовый фронт, когерентные источники излучения, угловые координаты, диаграмма направленности антенны.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Дятко А.А., Костромицкий С.М., Шумский П.Н., Давыденко И.Н. Работа радиолокационной угломерной системы в условиях сигнала, создаваемого когерентными источниками излучения из двух точек пространства. Доклады БГУИР. 2019; 7–8(126): 22-29.

OPERATION OF THE RADIOLOCATION ANGULAR SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE SIGNAL CREATED BY COHERENT SOURCES OF RADIATION FROM TWO SPOTS

ALIAKSANDR A. DYATKO¹, SERGEI M. KOSTROMITSKI², PETR N. SHUMSKI³,
IGOR N. DAVYDENKO⁴

¹*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

^{2,3,4}*Republican Science-and-Production Unitary Enterprise*

“Radio Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus

Submitted 19 April 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

Abstract. The purpose of the work, the results of which are presented within the framework of the article, was to analyze the operation of the radar goniometer system under the conditions of a signal generated by coherent radiation sources from two points in space (cross-eye interference). To achieve the goal in the present work, a study was made of the dependence of the settings of the goniometric system on the ratio of the parameters of the cross-eye jammer and the angular coordinate meter itself. As a goniometric system, an angular coordinate meter was used, operating by the method of amplitude instantaneous signal comparison. The studies were carried out by the method of theoretical analysis of the influence of the radiation pattern parameters of the antenna system of the meter on the result of measuring the angular position of a virtual radiation source. As a result, an equation is obtained that relates the angular position of the virtual radiation source with the radiation pattern parameters of the antenna system of the meter, the shape of which was approximated by a gaussian curve. To illustrate the functioning of the goniometric system at specific values of the parameters supplied to its input signals, the method of mathematical modeling was used. Modeling was performed for the given parameters, which determine both the position of the radiation sources in space and the algorithm of operation of the angular coordinate meter. Based on the results obtained, it is shown that the angular coordinate meter has three stationary states corresponding to the position of the virtual radiation source in space. It is shown that only two of these states are stable. The latter means that, depending on the initial conditions, the angular coordinate meter can fix one of the two possible positions of the virtual radiation source in space. The scientific novelty of this work is to establish a relationship between the position of the virtual radiation source in space and the parameters of the angular coordinate meter.

Keywords: electromagnetic wave, phase front, coherent radiation sources, angular coordinates, antenna pattern.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Dyatko A.A., Kostromitski S.M., Shumski P.N., Davidenko I.N. Operation of the radiolocation angular system in the conditions of the signal created by coherent sources of radiation from two spots. Doklady BGUIR. 2019; 7–8(126): 22-29.

Введение

В работе [1] показано, что система из двух когерентных излучателей электромагнитных волн, разнесенных в пространстве, эквивалентна некоторому одному эквивалентному (виртуальному) источнику излучения, угловое положение которого по отношению к внешнему наблюдателю (например, угломеру) может существенно превосходить угловой размер базы излучателей. Последнее обстоятельство может приводить к существенным ошибкам при измерении угловых координат объектов, которые можно представить, как совокупность когерентных излучателей. При этом очевидно, что величина этой ошибки будет зависеть от параметров как наблюдаемого объекта, так и параметров радиолокационного угломера.

Данная статья посвящена исследованию работы радиолокационного угломера в условиях, когда радиолокационный объект представляется системой, состоящей из двух когерентных излучателей.

Основная часть

Пусть в некоторой точке наблюдения P находится угломерная система. Введем в рассмотрение систему координат наблюдателя $X_P O_P Y_P$ с центром в точке $P (O_P)$ (рис. 1).

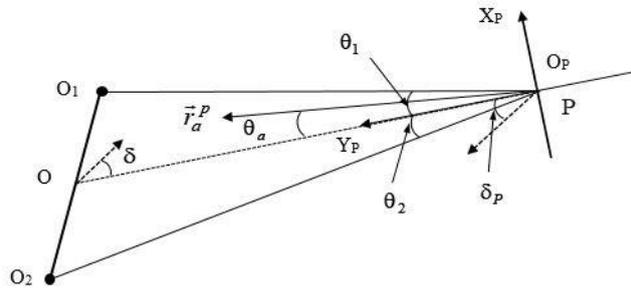


Рис. 1. Система координат наблюдателя для определения углового положения виртуального источника излучения с учетом ДНА

Fig.1. The observer coordinate system for determining the angular position of the virtual radiation source, taking into account the antenna pattern

Ось Y_P введенной системы координат направим в центр O базы излучателей $O_1 O_2$. Тогда направление распространения электромагнитной волны системы излучателей $O_1 O_2$ будет определяться углом φ [1]. Угловое положение виртуального источника в системе координат $X_P O_P Y_P$ будем обозначать φ_P и отсчитывать от оси Y_P . При указании угловых координат положительным будем считать угол, отсчитанный от оси Y_P против часовой стрелки. При таком направлении отсчета углов $\varphi = \varphi_P$, что является удобным для анализа.

Примем, что диаграмма направленности антенны (ДНА) радиолокационного угломера имеет вид:

$$g(\varphi) = A(\varphi)e^{i\varphi(\varphi)} = A(\varphi \varphi \varphi_a)e^{i\varphi(\varphi \varphi_a)}, \quad (1)$$

где $A(\varphi)$ – амплитудная характеристика ДНА, $\varphi(\varphi)$ – фазовая характеристика ДНА, φ_a – угловое направление, определяющее направление ДНА (например, положение максимума ДНА, определяемое вектором r_a^P). Как было показано в [1], одним из параметров, от которых зависит значение угла φ , рассчитанное без учета ДНА, является отношение амплитуд сигналов $a = A_2/A_1$, излучаемых источниками O_1 и O_2 , в точке приема P . В рассматриваемом случае это отношение необходимо скорректировать с учетом ДНА в точке приема.

Пусть в системе координат $X_P O_P Y_P$ φ_1 и φ_2 – угловые положения источников излучения O_1 и O_2 соответственно. Тогда отношение амплитуд сигналов в точке приема P будет иметь вид

$$a_g = \frac{A_2 g(\varphi_2 \varphi \varphi_a)}{A_1 g(\varphi_1 \varphi \varphi_a)} = a a_G e^{i[\varphi(\varphi_2 \varphi \varphi_a) - \varphi(\varphi_1 \varphi \varphi_a)]}, \quad (2)$$

где

$$a_G = \frac{A(\varphi_2 \varphi \varphi_a)}{A(\varphi_1 \varphi \varphi_a)} - \quad (3)$$

корректирующий коэффициент для отношения амплитуд сигналов a в точке приема, обусловленный наличием на приемной стороне антенны с ДНА вида (1).

Полагая, что фазовая характеристика ДНА $\varphi(\varphi)$ в диапазоне углов, соответствующих ширине ДНА, изменяется незначительно, выражение (2) для отношения амплитуд, с учетом (3), можно представить в виде

$$a_g \approx \frac{A_2}{A_1} \frac{A(\varphi_2 \varphi \varphi_a)}{A(\varphi_1 \varphi \varphi_a)} = a a_G. \quad (4)$$

В результате выражение для углового положения виртуального источника излучения, при наблюдении в системе координат $X_P O_P Y_P$, при использовании (4) будет иметь вид [1]

$$\varphi_P = \arctg \frac{p \sin \varphi_1}{1 + 2aa \frac{\cos(2\varphi_1 \cos \varphi_2 - 1)}{G} + \left(\frac{aa}{G}\right)^2} \quad (5)$$

где [1] $\varphi_1 = \varphi_2 \varphi_3$, $p = d \sin \varphi_1$, $u = d \cos \varphi_1$, φ_1 – угловая координата точки наблюдения P в полярной системе координат с началом в точке O ; φ_2 – угловая координата точки O_1 в полярной системе координат с началом в точке O ; r – расстояние между центром базы O системы излучателей $O_1 O_2$ и началом системы координат наблюдателя O_P (рис. 1), d – размер базы (длина отрезка $O_1 O_2$) системы излучателей $O_1 O_2$, λ – длина волны.

Для конкретизации выражения (5) воспользуемся описанием ДНА в виде гауссовой кривой

$$A(\varphi) = e^{-\frac{2 \ln 2 \varphi^2}{\Delta^2}} \quad (6)$$

где Δ – ширина ДНА по уровню $1/\sqrt{2}$, $\varphi = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3$, φ_1 – произвольное угловое направление в фиксированной системе координат $X_P O_P Y_P$.

В результате, выражение (3) для a_G примет вид

$$a_G = \frac{A(\varphi_2 \varphi_3)}{A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3)} = e^{\frac{4 \ln 2 \varphi_1^2}{\Delta^2}} \quad (7)$$

где $\varphi = \varphi_2 \varphi_3$ – угловой размер базы ($\varphi_2 \varphi_3 = 0$ при выбранном способе отсчета углов в системе координат $X_P O_P Y_P$), видимой из точки O_P , $\varphi_0 = (\varphi_2 + \varphi_3) / 2$ – угловое положение центра базы в системе координат $X_P O_P Y_P$. В выбранной системе координат значение $\varphi_0 = 0$ и выражение (7) представляется в виде:

$$a_G = e^{\frac{4 \ln 2 \varphi_1^2}{\Delta^2}}$$

Положим, что в точке наблюдения P находится приемная антенна измерителя угловых координат, алгоритм работы которого реализует метод амплитудного мгновенного сравнения сигналов (АМС) с суммарно-разной обработкой [2].

Пусть $A_{\Sigma}(\varphi) = A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 + \varphi_0) + A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 - \varphi_0)$ – амплитудная характеристика ДНА суммарного канала измерителя [2], $A(\varphi)$ – ДНА парциальных каналов суммарного канала, $\varphi_0 = \varphi_a$ – равносигнальное направление ДНА суммарного канала (угловое направление, определяющее направление ДНА, определяемое вектором r_a^P), φ_0 – угловое рассогласование парциальных каналов.

Примем также, что фазовая характеристика ДНА суммарного канала в диапазоне углов, соответствующих ширине диаграммы направленности изменяется незначительно. В этом случае выражение (4) для корректирующего коэффициента примет вид

$$a_G^S = \frac{A_{\Sigma}(\varphi_2 \varphi_3)}{A_{\Sigma}(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3)} = \frac{A(\varphi_2 \varphi_3 + \varphi_0) + A(\varphi_2 \varphi_3 - \varphi_0)}{A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 + \varphi_0) + A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 - \varphi_0)} \quad (8)$$

Для конкретизации выражения (8) воспользуемся описанием ДНА парциальных каналов суммарного канала в виде гауссовой кривой (6). После подстановки (6) в (8) и несложных преобразований, получаем:

$$a_G^S = e^{\frac{4 \ln 2 \varphi_1^2}{\Delta^2} \frac{A(\varphi_2 \varphi_3 + \varphi_0) + A(\varphi_2 \varphi_3 - \varphi_0)}{A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 + \varphi_0) + A(\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 - \varphi_0)}} \quad (9)$$

Выражение (9) для a_G^S после элементарных преобразований можно представить в виде $a_{GS}^S(\vartheta) = a_{GS}(\vartheta) a_G^S(\vartheta)$, где

$$a_{GS}(\vartheta) = e^{-\frac{4 \ln 2 \vartheta^2 \sin^2 \vartheta}{\vartheta^2 \cos^2 \vartheta}}, \quad (10)$$

$$a_G^S(\vartheta) = e^{-\frac{4 \ln 2 \vartheta^2 \sin^2 \vartheta}{\vartheta^2 \cos^2 \vartheta} - \frac{8 \ln 2 \vartheta^2 \sin^2 \vartheta \cos^2 \vartheta}{\vartheta^2 \cos^2 \vartheta} + 1} / e^{-\frac{8 \ln 2 \vartheta^2 \sin^2 \vartheta \cos^2 \vartheta}{\vartheta^2 \cos^2 \vartheta} + 1}. \quad (11)$$

Теперь выражение (5), определяющее угловое положение виртуального источника излучения при наблюдении в системе координат $X_P O_P Y_P$ для суммарно-разностной схемы измерения угловых координат, с учетом (10) и (11) приобретает вид

$$\vartheta_P^S = \arctg \frac{p \sin \vartheta}{2 \frac{[aa_{GS}(\vartheta_S) a_G^S(\vartheta_S)]^2 + 1}{1 + 2[aa_{GS}(\vartheta_S) a_G^S(\vartheta_S)] \cos(2\vartheta \cos \vartheta) + [aa_{GS}(\vartheta_S) a_G^S(\vartheta_S)]^2}}. \quad (12)$$

Можно показать [2], что алгоритм измерения среднего значения угловой координаты радиолокационным угломером на основе суммарно-разностной схемы для непрерывного времени можно представить в виде

$$\frac{d\vartheta}{dt} = A_{\vartheta}(\vartheta, \vartheta_t) A_{\vartheta}(\vartheta, \vartheta_t) P_f^0, \quad (13)$$

где ϑ_t – угловая координата цели, P_f^0 – мощность сигнала на выходах суммарного и разностного каналов без учета ДНА, ϑ – некоторый коэффициент, $A_{\vartheta}(\vartheta) = A(\vartheta \cos \vartheta + \vartheta) A(\vartheta \cos \vartheta - \vartheta)$ – амплитудная характеристика ДНА разностного канала измерителя.

Поскольку в рассматриваемом случае угловая координата цели есть угловая координата виртуального источника излучения, то уравнение (13) можно переписать в виде

$$\frac{d\vartheta}{dt} = A_{\vartheta}[\vartheta \cos \vartheta^S(\vartheta)] A_{\vartheta}[\vartheta \cos \vartheta^S(\vartheta)] P^0, \quad (14)$$

где, как было показано выше, $\vartheta_P^S(\vartheta)$ – угловое положение виртуального источника излучения, зависящее от углового положения равносигнальной оси ДНА суммарного канала.

Измеренное значение угловой координаты (установившееся решение уравнения (14), если оно существует) определяется из условия $d\vartheta/dt = 0$. Из (14) получаем

$$A_{\vartheta}[\vartheta \cos \vartheta^S(\vartheta)] A_{\vartheta}[\vartheta \cos \vartheta^S(\vartheta)] = 0. \quad (15)$$

Так как внутри полосы пропускания ДНА $A_{\vartheta}(\vartheta) \neq 0$, то искомое положение антенны $\vartheta = \vartheta_S$ (равносигнальное направление ДНА суммарного канала) определяется из нелинейного уравнения

$$A_{\vartheta}[\vartheta \cos \vartheta^S(\vartheta_S)] = A[\vartheta_S \cos \vartheta^S(\vartheta_S) + \vartheta] A[\vartheta_S \cos \vartheta^S(\vartheta_S) - \vartheta] = 0. \quad (16)$$

Для ДНА парциального канала в виде гауссовой кривой (6) из (16) после несложных преобразований получаем уравнение для определения равносигнального направления ϑ_S :

$$\vartheta_S \cos^2 \vartheta_S = 0. \quad (17)$$

Подставляя в (17) выражение (12) для $\vartheta_P^S(\vartheta_S)$, получаем

$$\vartheta_S \arctg \frac{p \sin \vartheta}{2 \frac{[aa_{GS}(\vartheta_S) a_G^S(\vartheta_S)]^2 + 1}{1 + 2[aa_{GS}(\vartheta_S) a_G^S(\vartheta_S)] \cos(2\vartheta \cos \vartheta) + [aa_{GS}(\vartheta_S) a_G^S(\vartheta_S)]^2}} = 0. \quad (18)$$

Рассмотрим функцию $f_S(\theta) = \dots^S(\theta)$. Тогда нули функции $f_S(\theta)$ и будут корнями уравнения (18).

Для примера, на рис. 2 показан график функции $f_S(\theta)$ при изменении углового положения равносигнального направления ДНА в диапазоне углов $\theta'_s = 5^\circ \cdot 5'$ ($\theta'_s / \theta'_0 = 1 \cdot 1$) при значениях $\theta = 90^\circ$; $u = d/\lambda = 50$; $p = d/r = 8,7 \cdot 10^3$; $\theta = 179^\circ$; $a = 0,9^\circ$; $\theta'_1 = 5'$; $\theta'_2 = 0,1$; $\theta'_3 = 0,25'$; $\theta'_4 = 1'$ ($\theta'_5 = 0,2$).

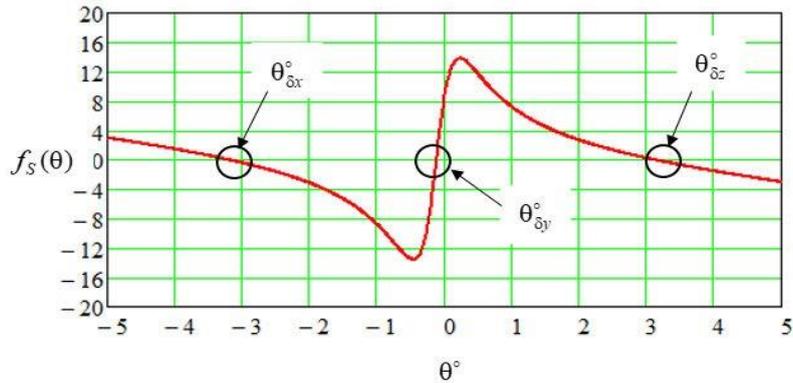


Рис. 2. Нули функции $f_S(\theta)$

Fig. 2. Zeros of function $f_S(\theta)$

Из графика следует, что рассматриваемая функция имеет три нуля (три стационарные точки уравнения (17)): $\theta_{0x} = 3,2'$; $\theta_{0y} = 0,11'$; $\theta_{0z} = 3,1'$.

Для исследования поведения алгоритма наведения ДНА на источник излучения в окрестности полученных стационарных точек было выполнено математическое моделирование алгоритма его работы (14) для различных начальных угловых положений равносигнального положения ДНА.

Результаты и их обсуждение

Результаты математического моделирования представлены на рис. 3 и рис. 4. На Рис. 3. представлен график решения дифференциального уравнения (14) ($\theta = 5 \cdot 10^4$; $P^0_f = 1$), иллюстрирующий процесс наведения ДНА на источник излучения для суммарно-разностного метода измерения угловой координаты при начальном положении ДНА $\theta'_{s0} = 5'$. Как видно из представленной зависимости, $\theta'_s \rightarrow \theta'_{0x}$, что говорит об установлении ДНА в направлении виртуального источника с угловой координатой $\theta'_{0x} = 3,2'$.

Аналогичная зависимость показана на рис. 4, где представлен график решения дифференциального уравнения (17) ($\theta = 5 \cdot 10^4$; $P^0_f = 1$), иллюстрирующий процесс наведения ДНА на источник излучения при начальном положении ДНА $\theta'_{s0} = 5'$. Как видно из представленной зависимости, $\theta'_s \rightarrow \theta'_{0z}$, что говорит об установлении ДНА в направлении виртуального источника с угловой координатой $\theta'_{0z} = 3,1'$.

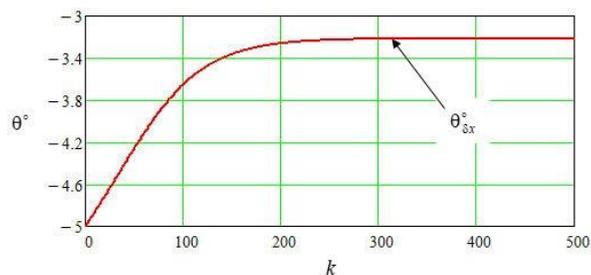


Рис. 3. Иллюстрация процесса наведения ДНА

на источник излучения для $\varphi'_{s0} = 5'$

Fig. 3. Illustration of the process of pointing the antenna pattern to a radiation source

for $\varphi'_{s0} = 5'$

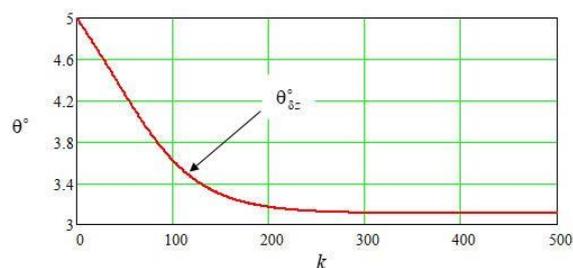


Рис. 4. Иллюстрация процесса наведения ДНА

на источник излучения для $\varphi'_{s0} = 5'$

Fig. 4. Illustration of the process of pointing the antenna pattern to a radiation source for $\varphi'_{s0} = 5'$

Многочисленные результаты моделирования при выборе начального положения ДНА φ'_{s0} в малой окрестности точки $\varphi'_{sy} = 0,11'$ показали, что система в процессе адаптации стремится в состояние φ'_{sx} или φ'_{sz} . Это говорит о том, что стационарная точка $\varphi'_{sy} = 0,11'$ не является точкой локального максимума для мощности сигнала на выходе угломера и, следовательно, не может быть угловой координатой виртуального источника излучения.

Заключение

В результате проведенных исследований показано влияние параметров диаграммы направленности антенной системы радиолокационного измерителя угловых координат на результат измерения углового положения виртуального источника излучения, эквивалентного системе из двух разнесенных в пространстве когерентных излучателей электромагнитных волн.

На примере измерителя угловых координат, реализующего метод амплитудного мгновенного сравнения сигналов с суммарно – разной обработкой, показано, что существуют как устойчивые, так и неустойчивые стационарные состояния измерительной системы. Для рассмотренного измерителя угловых координат приведены результаты математического моделирования, иллюстрирующие переход угломерной измерительной системы в одно из устойчивых состояний (наведение на виртуальный источник излучения) в зависимости от начальных условий.

Список литературы

1. Дятко А.А., Костромичский С.М., Шумский П.Н., Давыденко И.Н. Анализ фронта электромагнитной волны, создаваемой когерентными источниками излучения из двух точек пространства. *Доклады БГУИР*. 2018:116:5-11.
2. Охрименко А.Е. *Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба*. Москва: Воениздат; 1983.

References

1. Dyatko A.A., Kostromitski S.M., Shumski P.N., Davydenko I.N. [Analysis of the electromagnetic wave front created by coherent sources of radiation from two speeds]. *Doklady BGUIR = Doklady BGUIR*. 2018:116:5-11. (In Russ)
2. Ohrimenko A.E. [*Basics of radar and electronic warfare*]. Moskva: Voenizdat; 1983. (In Russ)

Вклад авторов

Дятко А.А. разработал программное обеспечение для компьютерного моделирования поведения измерителя угловых координат с АМС.

Костромицкий С.М. сформулировал задачу, подлежащую решению в процессе исследования работы радиолокационной угломерной системы с АМС, а также принял участие в обсуждении и интерпретации результатов.

Шумский П.Н. выполнил теоретическое исследование зависимости, связывающей угловое положение виртуального источника излучения с параметрами диаграммы направленности антенной системы радиолокационного измерителя.

Давыденко И.Н. выполнил компьютерное моделирование работы радиолокационного измерителя угловых координат и оформил результаты расчетов.

Authors contribution

Dyatko A.A. developed software for computer simulation of the behavior of an angular coordinate meter with AMS.

Kostromitski S.M. formulated the problem to be solved in the process of studying the operation of the radar goniometer system with AMS, and also took part in the discussion and interpretation of the results.

Shumski P.N. performed a theoretical study of the relationship between the angular position of the virtual radiation source and the radiation pattern parameters of the antenna system of the radar meter.

Davydenko I.N. performed a computer simulation of the radar angular coordinate meter and designed the calculation results.

Сведения об авторах

Дятко А.А., к.т.н., доцент, доцент кафедры информатики и веб-дизайна Белорусского государственного технологического университета.

Костромицкий С.М., д.т.н., профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, директор республиканского научно-производственного унитарного предприятия «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси».

Шумский П.Н., к.т.н., доцент, заместитель директора по научной работе республиканского научно-производственного унитарного предприятия «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси».

Давыденко И.Н., к.т.н., доцент, ученый секретарь республиканского научно-производственного унитарного предприятия «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси».

Адрес для корреспонденции

220072, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 15/5, каб. 420,
Республиканское научно-производственное
унитарное предприятие «Центр радиотехники
Национальной академии наук Беларуси».
тел. +375-29-573-50-25;
Дятко Александр Аркадьевич

Information about the authors

Dyatko A.A., PhD, Associate Professor, Associate Professor of Informatics and Web-design Department of Belarusian State University.

Kostromitski S.M., D.Sci., Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, director of the Republican Science and Production Unitary Enterprise “Radio Engineering Center of NAS of Belarus”.

Shumski P.N., PhD, Associate Professor, Deputy Director for Science of the Republican Science and Production Unitary Enterprise “Radio Engineering Center of NAS of Belarus”.

Davydenko I.N., PhD, Associate Professor, Scientific Secretary of the Republican Science and Production Unitary Enterprise “Radio Engineering Center of NAS of Belarus”.

Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 15/5, room 420,
Republican Science and Production Unitary
Enterprise “Radio Engineering Center of NAS
of Belarus”.
tel. +375-29-573-50-25;
Dyatko Aliaksandr Arkadievich