



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01S 5/02 (2023.08); G01S 5/0268 (2023.08); G01S 5/02685 (2023.08); G01S 13/46 (2023.08); G01S 2013/468 (2023.08); H04K 3/00 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023118180, 11.07.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.07.2023Дата регистрации:
27.12.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.07.2023

(45) Опубликовано: 27.12.2023 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

394028, г. Воронеж, ул. Базовая, 6, АО НВП
"ПРОТЕК"

(72) Автор(ы):

Кашин Александр Леонидович (RU),
Кирюшкин Владислав Викторович (RU),
Бабусенко Сергей Иванович (RU),
Журавлев Александр Викторович (RU),
Шуваев Владимир Андреевич (RU),
Красов Евгений Михайлович (RU),
Исаев Василий Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество
научно-внедренческое предприятие
"ПРОТЕК" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2734690 C1, 22.10.2020. RU 2687240 C1, 08.05.2019. RU 2542330 C1, 20.02.2015. RU 2703718 C1, 22.10.2019. RU 2215303 C2, 27.10.2003. ЖУРАВЛЕВ А.В., КИРЮШКИН В.В., БАБУСЕНКО С.И., МАРКИН В.Г. Имитационное моделирование процесса первичной обработки сигналов в приемнике многопозиционной радиолокационной системы на основе специальных излучателей // (см. прод.)

(54) Способ определения плановых координат воздушной цели с помощью многопозиционной радиолокационной системы, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех

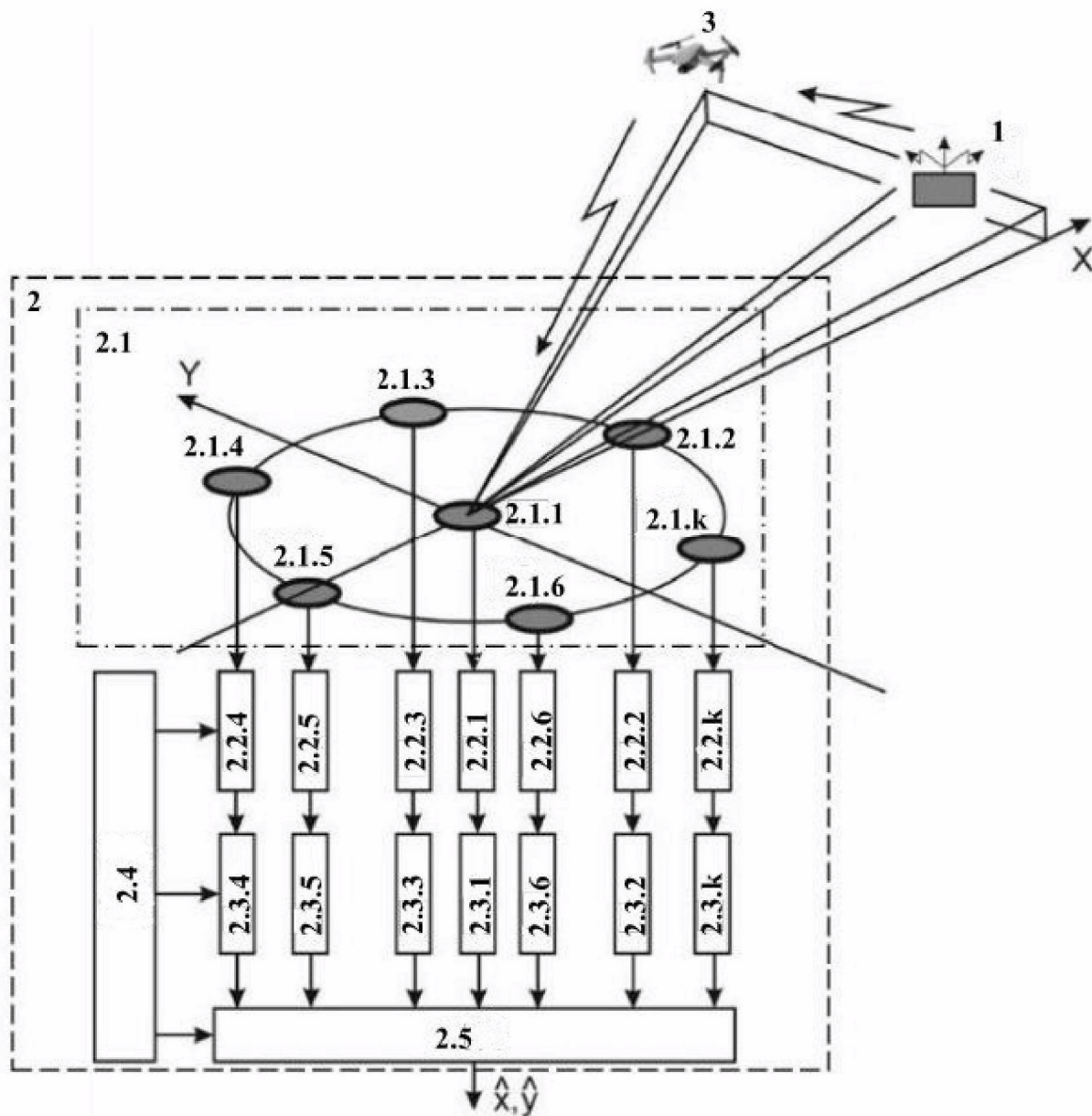
(57) Реферат:

Изобретение относится к способу, обеспечивающему определение плановых координат воздушной цели в многопозиционной радиолокационной системе (МПРЛС), встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, на основе анализа отклика, полученного в единственном бистатическом звене «передатчик-цель-приемник». Технический результат заключается в определении координат воздушной цели в МПРЛС на основе анализа отклика, полученного в единственном бистатическом звене «передатчик-цель-

приемник». В заявленном способе применяют МПРЛС, встроенную в пространственно-распределенную систему радиопомех и использующую для подсвета целей помеховый сигнал передатчика автоматизированной станции помех (АСП). *K*-канальное приемное устройство МПРЛС состоит из *K* антенн ($k=1, 2, \dots, K$), образующих антенную решетку с одной центральной антенной и *K*-1 периферийными антеннами, *K* приемников, *K* аналого-цифровых преобразователей (АЦП), *K*-канального цифрового вычислителя и синтезатора частот. В

заявленном способе осуществляют независимую корреляционную обработку сигнала передатчика, отраженного от цели, в каждом канале приемного устройства с определением оценок задержки и фазы откликов цели в точках максимума корреляционной функции, формирование вектора-столбца оценок задержки откликов воздушной цели, зарегистрированных в каждом канале приемного устройства, и вектора-столбца коэффициентов, обусловленных сдвигом фаз откликов, зарегистрированных в центральном и

в каждом периферийном канале приемного устройства. Формируют матрицу направленности антенной решетки, зависящую от ее геометрических параметров и определяющую сдвиги фаз сигналов в каждой периферийной антенне относительно сигнала в центральной антенне. Проводят оценку направления прихода сигнала, отраженного от воздушной цели, оценку расстояния «цель-центральная антенна», и с использованием этих значений получают оценку прямоугольных координат цели. 10 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

Радиотехника. 2020. Т. 84. N 6(12). Сс. 58-66. DOI: 10.18127/j00338486-202006(12)-10. CN 110346752 A, 18.10.2019. CN 114895268 A, 12.08.2022. US 7692586 B2, 06.04.2010.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01S 5/02 (2023.08); *G01S 5/0268* (2023.08); *G01S 5/02685* (2023.08); *G01S 13/46* (2023.08); *G01S 2013/468* (2023.08); *H04K 3/00* (2023.08)

(21)(22) Application: **2023118180, 11.07.2023**(24) Effective date for property rights:
11.07.2023Registration date:
27.12.2023

Priority:

(22) Date of filing: **11.07.2023**(45) Date of publication: **27.12.2023** Bull. № 36

Mail address:

**394028, g. Voronezh, ul. Bazovaya, 6, AO NVP
"PROTEK"**

(72) Inventor(s):

**Kashin Aleksandr Leonidovich (RU),
Kiriushkin Vladislav Viktorovich (RU),
Babusenko Sergei Ivanovich (RU),
Zhuravlev Aleksandr Viktorovich (RU),
Shuvaev Vladimir Andreevich (RU),
Krasov Evgenii Mikhailovich (RU),
Isaev Vasilii Vasilevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo
nauchno-vnedrencheskoe predpriatie
«PROTEK» (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING PLANNED COORDINATES OF AIR TARGET USING MULTI-POSITION RADAR SYSTEM BUILT INTO SPATIALLY DISTRIBUTED RADIO INTERFERENCE SYSTEM**

(57) Abstract:

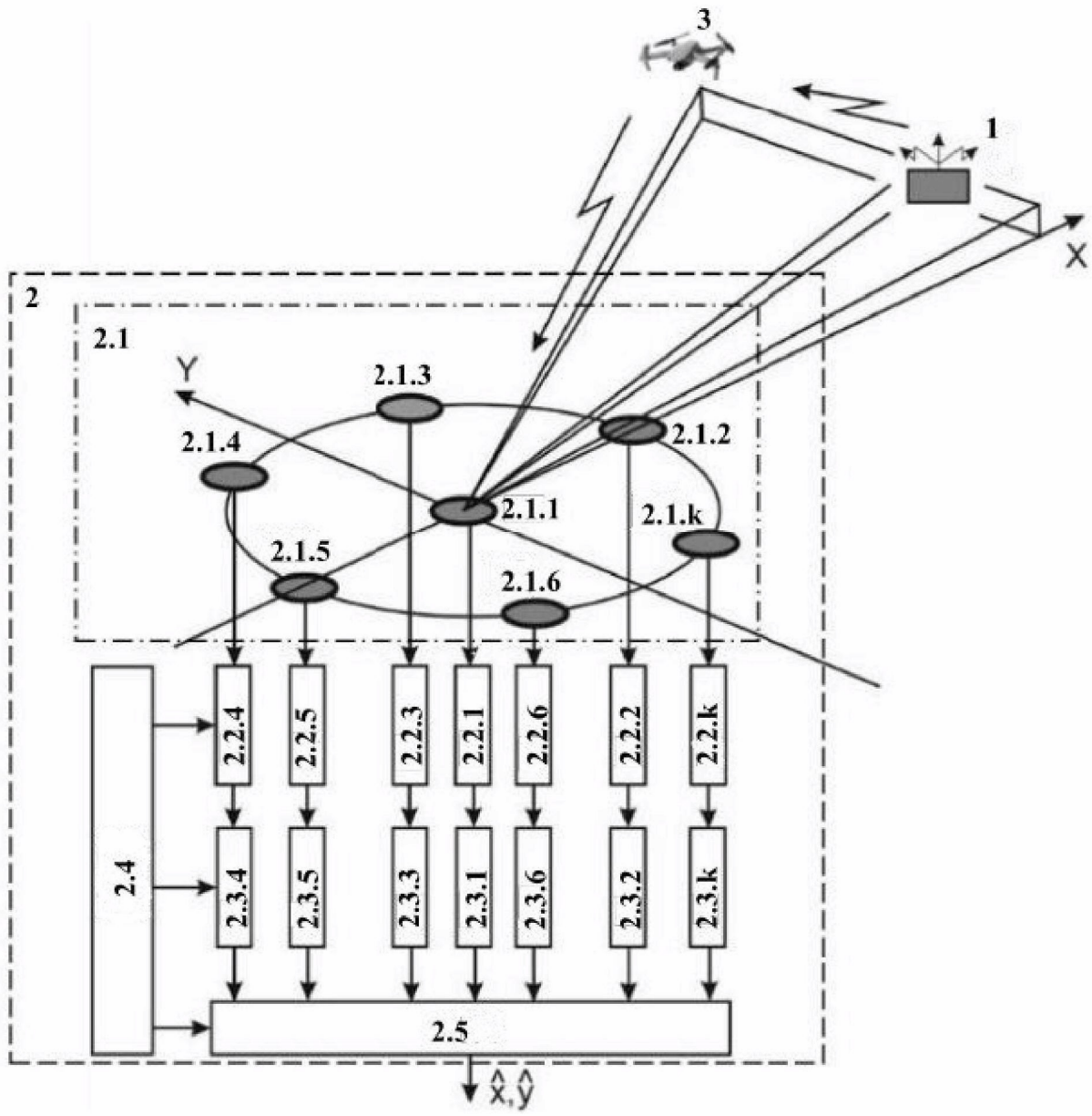
FIELD: radars.

SUBSTANCE: invention relates to a method for determining the planned coordinates of an air target in a multi-position radar system (MPRS) built into a spatially distributed radio interference system, based on an analysis of the response received in a single bistatic link "transmitter-target-receiver". In the claimed method, an MPRS is used, built into a spatially distributed radio interference system and using the interference signal of an automated jamming station (AJS) transmitter to illuminate targets. The K -channel MPRS receiving device consists of K antennas ($k=1, 2, \dots, K$) forming an antenna array with one central antenna and $K-1$ peripheral antennas, K receivers, K analogue-to-digital converters (ADC), K -channel digital computer and frequency synthesizer. In the claimed method, independent correlation processing of the transmitter signal reflected from the target is carried out in each channel of the receiving device with the determination of estimates of the delay and phase of

the target responses at the points of maximum of the correlation function, the formation of a column vector of estimates of the delay of the responses of the air target registered in each channel of the receiving device, and a column vector of coefficients caused by the phase shift of the responses recorded in the central and in each peripheral channel of the receiving device. A directivity matrix of the antenna array is formed, depending on its geometric parameters and determining the phase shifts of the signals in each peripheral antenna relative to the signal in the central antenna. The direction of arrival of the signal reflected from the air target is assessed, estimation of the target-central antenna distance, and using these values an estimate of the target's rectangular coordinates is obtained.

EFFECT: determining the coordinates of an air target in the MPRS based on an analysis of the response received in a single bistatic link "transmitter-target-receiver".

1 cl, 10 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к способу, обеспечивающему определение плановых координат воздушной цели в многопозиционной радиолокационной системе (МПРЛС), встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, на основе анализа отклика, полученного в единственном бистатическом звене «передатчик-цель-приемник».

Известны МПРЛС [1-8], которые с целью многофункционального использования радиотехнических систем созданы на основе пространственно-распределенной системы радиоподавления навигационной аппаратуры потребителей (НАП) глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) [5-8]. Такие МПРЛС состоят из N передатчиков радиопомех и M приемников отраженных от целей сигналов. Передатчики излучают фазокодоманипулированные псевдослучайной последовательностью (ФКМ ПСП) помеховые сигналы, которые помимо основной функции радиоподавления НАП ГНСС дополнительно выполняют функцию подсвета целей. Приемники отраженных от целей сигналов синхронизированы между собой и с передатчиками помех и объединены линиями связи с пунктом управления. При этом на пункте управления для определения координат воздушной цели используется суммарно-дальномерный или разностно-дальномерный метод позиционирования.

Однако, для реализации этих методов требуется, чтобы на этапе первичной обработки в МПРЛС отклик цели был обнаружен не менее чем в двух (для 2D позиционирования) или трех (для 3D позиционирования) каналах обработки сигналов (бистатических звеньях «передатчик-цель-приемник»). Это является основным недостатком такой МПРЛС, поскольку в условиях малой мощности радиолиний «передатчик-приемник» и применения малоразмерных воздушных целей с малой эффективной поверхностью рассеяния, отношение сигнал/шум в каналах первичной обработки сигналов будет мало и сигнал на их выходах превысит установленный порог обнаружения в одном канале, для которого суммарная дальность «передатчик-цель-приемник» будет минимальна. В этом случае определение координат воздушной цели с использованием суммарно-дальномерного или разностно-дальномерного методов позиционирования становится невозможным.

Кроме того, недостатком такой МПРЛС является необходимость реализации линий передачи данных с высокой пропускной способностью для передачи сигналов от разных приемных позиций на пункт управления для определения координат цели одним из указанных методов.

Техническое решение направлено на определение координат воздушной цели в МПРЛС, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, на основе анализа отклика, полученного в единственном бистатическом звене «передатчик-цель-приемник».

Технический результат достигается тем, что в многопозиционной радиолокационной системе, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех и использующей для подсвета целей помеховый сигнал передатчика автоматизированной станции помех (АСП), применяется K -канальное приемное устройство, состоящее из K антенн ($k=1, 2, \dots, K$), образующих антенную решетку с одной центральной антенной и $K-1$ периферийными антеннами, K приемников, K аналого-цифровых преобразователей (АЦП), K -канального цифрового вычислителя, синтезатора частот и обеспечивающее:

- независимую корреляционную обработку сигнала передатчика, отраженного от воздушной цели, в каждом канале приемного устройства с определением оценок задержки и фазы откликов воздушной цели в точках максимума корреляционной функции;
- формирование вектора-столбца оценок задержки откликов воздушной цели,

зарегистрированных в каждом канале приемного устройства, и вектора-столбца коэффициентов, обусловленных сдвигом фаз откликов, зарегистрированных в центральном и в каждом периферийном канале приемного устройства;

- формирование матрицы направленности антенной решетки, зависящей от ее геометрических параметров и определяющей сдвиги фаз сигналов в каждой периферийной антенне относительно сигнала в центральной антенне при приходе сигнала с заданного направления;
- оценку направления прихода сигнала, отраженного от воздушной цели, по максимуму пространственного спектра, получаемого путем перемножения матрицы направленности антенной решетки и вектора сдвига фаз принятого сигнала;
- оценку расстояния «цель-центральная антенна», получаемую с использованием известного значения направления на передатчик АСП, оценочного значения направления на воздушную цель из точки расположения центральной антенны приемного устройства, известного значения дальности «передатчик-центральная антенна» и оценочного значения суммарной дальности «передатчик-цель-центральная антенна», получаемого на основании оценочного значения задержки отклика воздушной цели, зарегистрированного в центральном канале приемного устройства;
- оценку прямоугольных координат воздушной цели на основании оценочного значения расстояния «цель-центральная антенна» и оценочного значения направления на воздушную цель из точки расположения центральной антенны приемного устройства.

Сущность изобретения поясняется рисунками.

На фиг. 1 показана схема угломерно-эллиптической МПРЛС, на фиг. 2 показан сигнал $S_k(t)$ передатчика 1 автоматизированной станции помех, отраженный от воздушной цели и принятый антенной 2.1.k антенной решетки 2.1 приемного устройства 2, на фиг. 3 показ спектр сигнала, отраженного от воздушной цели $S_k(t)$ на нулевой частоте, на фиг. 4 показана действительная часть комплексного цифрового сигнала на

нулевой частоте $U_k(i\Delta t)$, на фиг. 5 показаны действительная (а), мнимая (б)

составляющие и огибающая, (в) корреляционной функции $R_k(m\Delta t)$, на фиг. 6 показан

пространственный спектр P сигнала, отраженного от воздушной цели и принятого антенной решеткой 2.1, на фиг. 7 приведена иллюстрация процесса оценки координат воздушной цели угломерно-эллиптическим способом, на фиг. 8 приведена таблица 1, содержащая параметры антенной решетки, используемые для численного имитационного моделирования, на фиг. 9 приведена таблица 2, содержащая исходные данные и результаты численного имитационного моделирования, на фиг. 10 графически показаны результаты численного имитационного моделирования.

Способ определения плановых координат воздушной цели с помощью многопозиционной радиолокационной системы, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, реализуется в МПРЛС, которая состоит из передатчика 1 автоматизированной станции помех (АСП), K -канального приемного устройства 2, состоящего из K антенн 2.1.k ($k=1, 2, \dots, K$), образующих антенную решетку 2.1 с одной центральной антенной 2.1.1 и $K-1$ периферийными антеннами 2.1.k ($k=2, 3, \dots, K$), расположенными в узлах правильного ($K-1$)-угольника, K приемников 2.2.k ($k=1, 2, \dots, K$), K аналого-цифровых преобразователей (АЦП) 2.3.k ($k=1, 2, \dots, K$), K -канального

цифрового вычислителя 2.4, синтезатора частот 2.5 (фиг. 1).

Геометрический центр центральной антенны 2.1.1 является началом прямоугольной горизонтальной декартовой системой координат XOY , а полярные координаты периферийных антенн 2.1.k (r, φ_k) заданы, где $r = \lambda/2$ - радиус антенной решетки (расстояние между центральной антенной 2.1.1 и периферийными антеннами 2.1.k), равный половине длины волны λ помехового сигнала, а угол φ_k отсчитывается против часовой стрелки от оси OX и определяется, исходя из выражения

$$\varphi_k = \frac{(k-1)2\pi}{K-1}, k = 1, \dots, K-1. (1)$$

Прямоугольные координаты периферийных антенн 2.1.k определяются из выражений

$$x_k = r \cdot \cos(\varphi_k), (2)$$

$$y_k = r \cdot \sin(\varphi_k). (3)$$

Прямоугольные координаты (x_{Π}, y_{Π}) передатчика 1 АСП известны, а полярные координаты (r_{Π}, φ_{Π}) определяются, исходя из выражений

$$r_{\Pi} = (x_{\Pi}^2 + y_{\Pi}^2)^{\frac{1}{2}}, (4)$$

$$\varphi_{\Pi} = \arctg\left(\frac{y_{\Pi}}{x_{\Pi}}\right). (5)$$

Способ определения плановых координат воздушной цели с помощью многопозиционной радиолокационной системы, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, осуществляется следующим образом.

1. Передатчик 1 АСП формирует и излучает помеховый ФКМ сигнал

$$S(t) = AG(t)\cos(2\pi f_0 t + \psi), (6)$$

где A - амплитуда сигнала, $G(t)$ - псевдослучайная последовательность (ПСП), f_0 - несущая частота сигнала, ψ - начальная фаза сигнала.

2. Излученный сигнал передатчика 1 АСП отражается от воздушной цели 3 с координатами (x, y), находящейся в зоне радиовидимости МПРЛС, и поступает на вход K -канального приемного устройства 2 (фиг. 1).

3. В каждом k -ом канале приемного устройства 2 осуществляются следующие операции:

- сигнал, отраженный от воздушной цели 3, принимается антенной 2.1.k антенной решетки 2.1 и без учета доплеровского смещения частоты имеет вид (фиг. 2)

$$S_k(t) = A_k G(t - \tau_k) \cos(2\pi f_0 (t - \tau_k) + \psi), (7)$$

где A_k - амплитуда отраженного от цели сигнала, τ_k - задержка сигнала, определяемая взаимным расположением передатчика, приемника и цели

$$\tau_k = \frac{1}{c} (r_{1 \rightarrow 3} + r_{3 \rightarrow 2.1.k}), (8)$$

где $r_{1 \rightarrow 3} = ((x_{\Pi} - x)^2 + (y_{\Pi} - y)^2)^{\frac{1}{2}}$ - расстояние «передатчик 1-цель 3»,

$r_{3 \rightarrow 2.1.k} = ((x_{2.1.k} - x)^2 + (y_{2.1.k} - y)^2)^{\frac{1}{2}}$ - расстояние «цель 3-антенна 2.1.k», c - скорость света.

- с выхода антенны 2.1.k сигнал $S_k(t)$ поступает в приемник 2.2.k, где осуществляется его селекция, усиление и перенос его спектра на нулевую частоту (фиг. 3).

- с выхода приемника 2.2. k сигнал на нулевой частоте поступает на АЦП 2.3. k , где осуществляется его аналогово-цифровое преобразование с формированием комплексных отсчетов цифрового сигнала на нулевой частоте $\dot{U}_k(i\Delta t)$, где Δt - интервал

5 дискретизации, i - номер дискретного отсчета (действительная часть $\dot{U}_k(i\Delta t)$ показана на фиг. 4).

4. С выходов АЦП 2.3. k цифровые сигналы на нулевой частоте $\dot{U}_k(i\Delta t)$, поступают в K -канальный цифровой вычислитель 2.4, где в каждом k -ом канале осуществляются следующие операции:

10 - обработка $\dot{U}_k(i\Delta t)$ в фильтре, согласованном с ПСП передатчика 1 АСП, с формированием комплексной корреляционной функции (фиг. 5 а, б)

$$\dot{R}_k(m\Delta t) = I_k(m\Delta t) + jQ_k(m\Delta t), \quad (9)$$

15
$$I_k(m\Delta t) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \operatorname{Re}\{\dot{U}_k((i+m)\Delta t)\} G(i\Delta t), \quad (10)$$

$$Q_k(m\Delta t) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \operatorname{Im}\{\dot{U}_k((i+m)\Delta t)\} G(i\Delta t), \quad (11)$$

20 где L - длина ПСП в дискретных отсчетах, $m = \frac{\tau}{\Delta t}$ - временной сдвиг (задержка) сигнала в согласованном фильтре в дискретных отсчетах (изменяется в пределах длины ПСП $m=1, \dots, L$);

- вычисление огибающей корреляционной функции (фиг. 5в)

25
$$X_k(m\Delta t) = \sqrt{I_k^2(m\Delta t) + Q_k^2(m\Delta t)}. \quad (12)$$

- вычисление среднеквадратического отклонения (СКО) отсчетов корреляционной функции σ_x , на основании которого рассчитывается порог обнаружения воздушной цели 3 по заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт}$ в предположении Рэлеевского характера распределения шума огибающей корреляционной функции

30
$$H = \sigma_x \sqrt{-\ln P_{лт}}; \quad (13)$$

- определение максимального значения $X_{k,max}$ огибающей корреляционной функции, которое сравнивается с порогом обнаружения, при этом воздушной целью 3 считается обнаруженной если значение огибающей корреляционной функции превысило порог обнаружения

35
$$X_{k,max} > H, \quad (14)$$

- в случае обнаружения воздушной цели 3 определяется соответствующий номер отсчета огибающей корреляционной функции

40
$$\hat{m}_k = \operatorname{argmax}\{X_k(m\Delta t)\}, \quad (15)$$

- определяется оценка задержки отклика цели в k -ом канале

$$\hat{\tau}_k = \hat{m}_k \Delta t, \quad (16)$$

- определяется оценка фазы сигнала в момент регистрации отклика в k -ом канале

45
$$\hat{\psi}_k = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{Q_k(\hat{m}\Delta t)}{I_k(\hat{m}\Delta t)} \right\}. \quad (17)$$

Перечисленные в п. 3 и п. 4 операции первичной обработки сигнала $S_k(t)$ независимо

осуществляется в каждом канале приемного устройства 2, при условии, что все тактовые и опорные частоты во всех K каналах формируются от одного синтезатора частот 2.5.

5 В результате первичной обработки сигналов во всех K каналах приемного устройства 2 в цифровом вычислителе 2.4 формируются вектор-столбец размером $K \times 1$ оценок задержки отклика воздушной цели 3

$$\mathbf{T} = [\hat{t}_0 \dots \hat{t}_k \dots \hat{t}_{K-1}]^T \quad (18)$$

и вектор-столбец размером $K \times 1$ оценок фазы сигнала, отраженного от воздушной цели 3

$$10 \quad \mathbf{\Psi} = [\hat{\psi}_0 \dots \hat{\psi}_k \dots \hat{\psi}_{K-1}]^T, \quad (19)$$

которые служат исходными данными для следующих операций вторичной обработки, осуществляемых в цифровом вычислителе 2.4:

- вектор $\mathbf{\Psi}$ преобразуется в вектор-столбец (размером $(K-1) \times 1$) коэффициентов, обусловленных сдвигом фаз сигналов, отраженных от воздушной цели 3 и зарегистрированных в центральном и в каждом периферийном канале приемного устройства 2,

$$\Delta\mathbf{\Psi} = [\exp\{-j\Delta\hat{\psi}_1\} \dots \exp\{-j\Delta\hat{\psi}_k\} \dots \exp\{-j\Delta\hat{\psi}_K\}]^T, \quad (20)$$

20 где $\Delta\hat{\psi}_k = \hat{\psi}_0 - \hat{\psi}_k$. Вектор $\Delta\mathbf{\Psi}$ содержит в себе необходимую информацию о направлении прихода сигнала, отраженного от воздушной цели 3;

- для всей K -элементной антенной решетки 2.1 в диапазоне углов $\varphi = 0 \dots 2\pi$ с шагом $\Delta\varphi$ определяется матрица направленности \mathbf{A} , зависящая от геометрических параметров антенной решетки 2.1. Размер матрицы составит $(N \times (K-1))$, где $N = \frac{2\pi}{\Delta\varphi}$ - количество

направлений (строк матрицы направленности). Элемент $a(n, k)$ матрицы направленности определяет сдвиг фаз сигнала в центральной антенне 2.1.1 и k -ой периферийной антенне 2.1. k с угловой координатой φ_k при приходе сигнала с n -го направления $\varphi_n = n\Delta\varphi$

$$30 \quad a(n, k) = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} r \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_n)\right\}; \quad (21)$$

- формируется пространственный спектр \mathbf{P} сигнала, отраженного от воздушной цели 3 и принятого антенной решеткой 2.1, путем перемножения матрицы направленности и вектора сдвига фаз принятого сигнала

$$35 \quad \mathbf{P} = \mathbf{A}\Delta\mathbf{\Psi}. \quad (22)$$

Пространственный спектр \mathbf{P} представляет собой вектор-столбец размером $(N \times 1)$ (фиг. 6);

40 - определяется оценка $\hat{\varphi}$ направления прихода сигнала, отраженного от воздушной цели 3 и принятого антенной решеткой 2.1, как направление, соответствующее максимальному значению полученного пространственного спектра

$$\hat{\varphi} = \Delta\varphi \cdot \operatorname{argmax}\{\mathbf{P}\}; \quad (23)$$

45 - оценивается расстояние $\hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1}$ «цель 3-центральная антенна 2.1.1», исходя из выражения

$$\hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1} = \frac{r_{1 \rightarrow 2.1.1}^2 - \hat{r}_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2.1.1}^2}{2(r_{1 \rightarrow 2.1.1} \cos \hat{\varphi} - \hat{r}_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2.1.1})} \quad \hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1} = \frac{r_{1 \rightarrow 2.1.1}^2 - \hat{r}_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2.1.1}^2}{2(r_{1 \rightarrow 2.1.1} \cos \hat{\varphi} - \hat{r}_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2.1.1})}, \quad (24)$$

где $\hat{\gamma} = \hat{\varphi} - \varphi_{\Pi} \hat{\gamma} = \hat{\varphi} - \varphi_{\Pi}$ - угол между направлением на передатчик 1 АСП и оценочным направлением на воздушную цель 3 из точки расположения центральной антенны 2.1.1, $\hat{r}_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2.1.1} = c\tau_0 \hat{r}_{1 \rightarrow 3 \rightarrow 2.1.1} = c\tau_0$ - оценка суммарной дальности

«передатчик 1-цель 3-центральная антенна 2.1.1», $r_{1 \rightarrow 2.1.1} = r_{\Pi} r_{1 \rightarrow 2.1.1} = r_{\Pi}$ - дальность «передатчик 1-центральная антенна 2.1.1», равная полярной координате $r_{\Pi} r_{\Pi}$ точки расположения передатчика 1 АСП (фиг. 7);

- с использованием оценочных значений расстояния «цель 3-центральная антенна 2.1.1» и направления на воздушную цель 3 из точки расположения центральной антенны 2.1.1, оцениваются прямоугольные координаты воздушной цели 3

$$\hat{x} = \hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1} \cos \hat{\varphi} \quad \hat{x} = \hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1} \cos \hat{\varphi}, \quad (25)$$

$$\hat{y} = \hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1} \sin \hat{\varphi} \quad \hat{y} = \hat{r}_{3 \rightarrow 2.1.1} \sin \hat{\varphi}. \quad (26)$$

Параметры антенной решеткой 2.1, использованные для численного имитационного моделирования представлены в таблице 1 на фиг. 8.

Прямоугольные координаты приемного устройства 2 (геометрического центра центральной антенны 2.1.1 антенной решетки 2.1), передатчика 1 АСП и истинные координаты воздушной цели 3, использованные при моделировании в качестве исходных данных, а также оценка направления на воздушную цель 3 и оценки координат воздушной цели 3, полученные в ходе численного имитационного моделирования, представлены в таблице 2 на фиг. 9.

Графически результаты численного имитационного моделирования определения координат воздушной цели 3 в МПРЛС приведены на фиг. 10, где передатчик 1 АСП показан ромбом, приемное устройство 2 обозначено квадратом, истинное положение воздушной цели 3 показано крестиком, а оценочное положение воздушной цели 3 обозначено звездой.

Анализ фиг. 9 и фиг. 10 показывает, что предложенная угломерно-эллиптическая МПРЛС, встроенная в пространственно-распределенную систему радиопомех и реализующая предложенный способ определения координат воздушной цели 3, с высокой точностью обеспечивает измерение координат воздушной цели 3, отклик которой зарегистрирован в единственном бистатическом звене «передатчик-цель-приемник».

Таким образом, предложенный способ определения плановых координат воздушной цели с помощью многопозиционной радиолокационной системы, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, обеспечивает определение координат воздушной цели на основе анализа отклика, зарегистрированного в единственном бистатическом звене «передатчик-цель-приемник» в МПРЛС, встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех, приемная позиция которой оборудована антенной решеткой 2.1.

Разработанный способ обеспечивает точность позиционирования воздушной цели 30-50 м при суммарной дальности бистатического звена «передатчик-цель-приемник» 15-20 км и погрешности пеленгования не более 1.

Источник информации

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. - 416 с.
2. Фадеев Р.С. Возможности обнаружения и определения координат малозаметных целей в многопозиционных радиолокационных системах с размещением позиций на борту беспилотных летательных аппаратов / Фадеев Р.С., Мякинников А.В., Буров В.Н., Огурцов А.Г. // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника. 2014, Вып. 6, С. 29-35.

3. Kaplan L.M., Bar-Shalom Y., Blair W.D. Assignment Costs for Multiple Sensor Track-to-Track Association. IEEE Transactions on AES. April 2008, 44(2), 655-677.

4. Kiryushkin V.V., Cherepanov D.A. Coordinates estimation of the air target in the multiitem observation system «navigation satellites -the air target -the ground receiver» J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2016, 9(8), 1172-1182. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-8-1172-1182.

5. Журавлев А.В., Кирюшкин В.В., Коровин А.В., Савин Д.И. Синтез многопозиционных радиолокационных систем на базе специализированных излучателей // Радиотехника, 2018, № 7, 109 -118.

6. Журавлев А.В., Кирюшкин В.В., Бабусенко С.И., Маркин В.Г. Имитационное моделирование процесса первичной обработки сигналов в приемнике многопозиционной радиолокационной системы на основе специальных излучателей // Радиотехника.2020. Т. 84. № 6(12). С. 58-66. DOI: 10.18127/j00338486-202006(12)-10.

7. Шуваев В.А., Журавлев А.В., Кирюшкин В.В., Бабусенко С.И. Экспериментальная проверка возможности регистрации откликов воздушных целей в многопозиционной радиолокационной системе на основе специальных излучателей // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 6(12). С. 121-130. DOI: 1018127/j00338486-202006(12)-19.

8. Патент № 2734690 РФ, МПК G01S 5/02, G01C 21/04. Способ определения координат воздушной цели в многопозиционной наземной системе наблюдения Радиопередатчики-воздушная цель-приемник / А.В. Журавлев, А.Ф. Иванов, В.В. Кирюшкин и др. (РФ); Открытое акционерное научно-внедренческое предприятие «ПРОТЕК» (РФ). - № 2019143788; Заявлено 23.12.2019; Оpubл. 22.10.2020, Бюл. 30. - 12 с.: 1 ил.

(57) Формула изобретения

Способ определения плановых координат воздушной цели с помощью многопозиционной радиолокационной системы (МПРЛС), встроенной в пространственно-распределенную систему радиопомех и использующей для подсвета воздушных целей помеховый сигнал передатчика автоматизированной станции помех (АСП), отличающийся тем, что в составе МПРЛС применяется K -канальное приемное устройство, состоящее из K антенн ($k=1, 2, \dots, K$), образующих антенную решетку с одной центральной антенной и $K-1$ периферийными антеннами, K приемников, K аналого-цифровых преобразователей (АЦП), K -канального цифрового вычислителя, синтезатора частот и обеспечивающее:

- независимую корреляционную обработку сигнала передатчика, отраженного от воздушной цели, в каждом канале приемного устройства с определением оценок задержки и фазы откликов воздушной цели в точках максимума корреляционной функции;

- формирование вектора-столбца оценок задержки откликов воздушной цели, зарегистрированных в каждом канале приемного устройства, и вектора-столбца коэффициентов, обусловленных сдвигом фаз откликов, зарегистрированных в центральном и в каждом периферийном канале приемного устройства;

- формирование матрицы направленности антенной решетки, зависящей от ее геометрических параметров и определяющей сдвиги фаз сигналов в каждой периферийной антенне относительно сигнала в центральной антенне при приходе сигнала с заданного направления;

- оценку направления прихода сигнала, отраженного от воздушной цели, по максимуму пространственного спектра, получаемого путем перемножения матрицы направленности антенной решетки и вектора сдвига фаз принятого сигнала;

- оценку расстояния «цель - центральная антенна», получаемую с использованием

известного значения направления на передатчик АСП, оценочного значения направления на воздушную цель из точки расположения центральной антенны приемного устройства, известного значения дальности «передатчик - центральная антенна» и оценочного значения суммарной дальности «передатчик - цель - центральная антенна», получаемого
5 на основании оценочного значения задержки отклика воздушной цели, зарегистрированного в центральном канале приемного устройства;

- оценку прямоугольных координат воздушной цели на основании оценочного значения расстояния «цель - центральная антенна» и оценочного значения направления на воздушную цель из точки расположения центральной антенны приемного устройства.
10

15

20

25

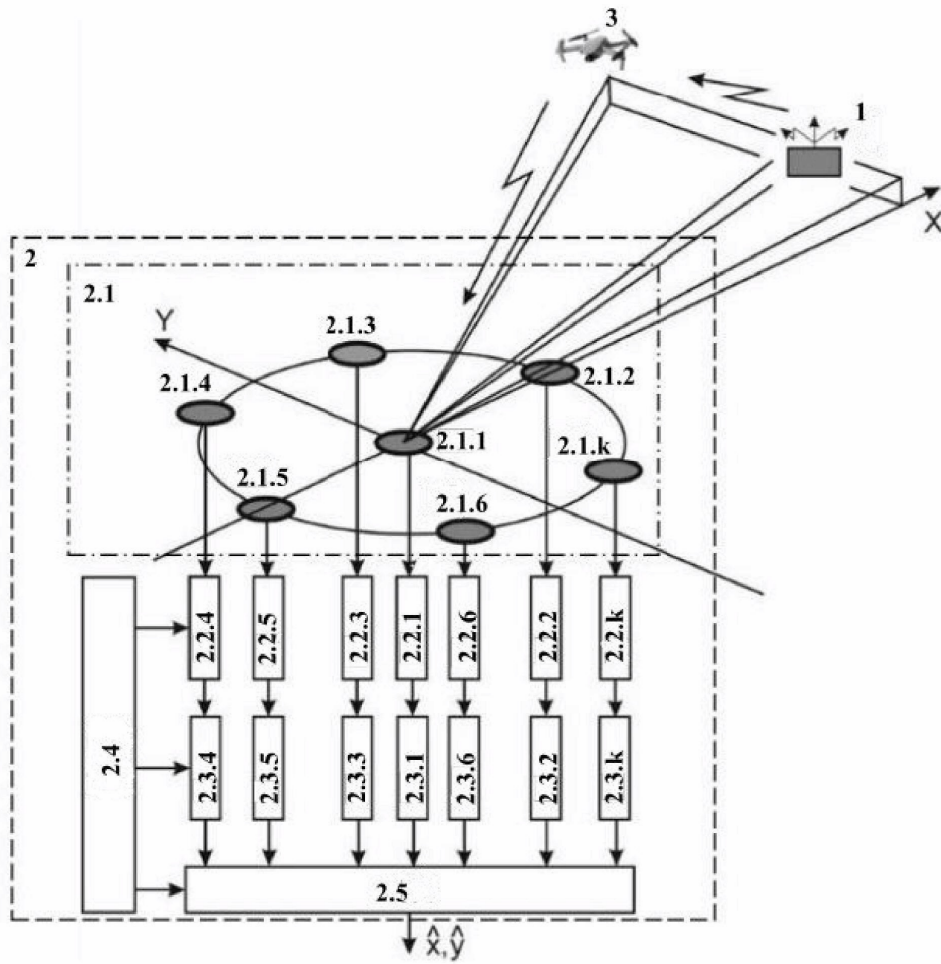
30

35

40

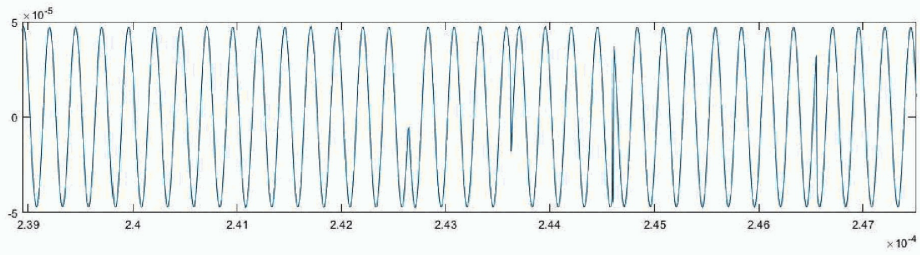
45

1

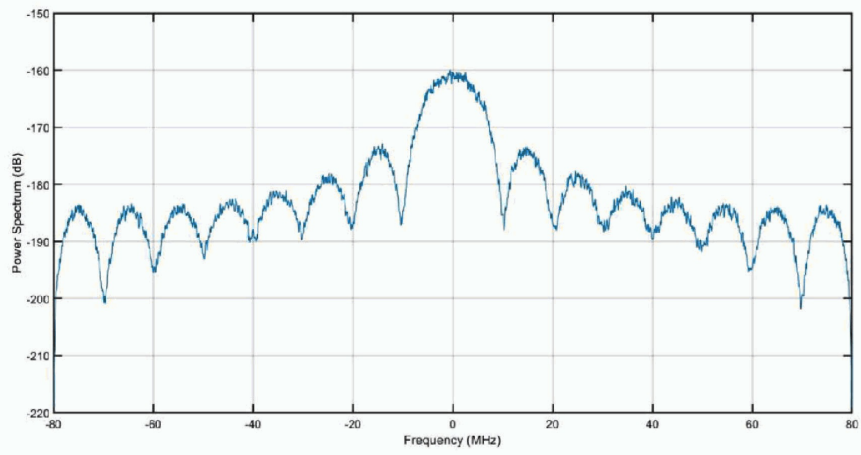


Фиг. 1

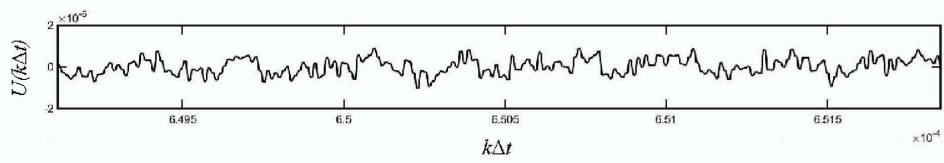
2



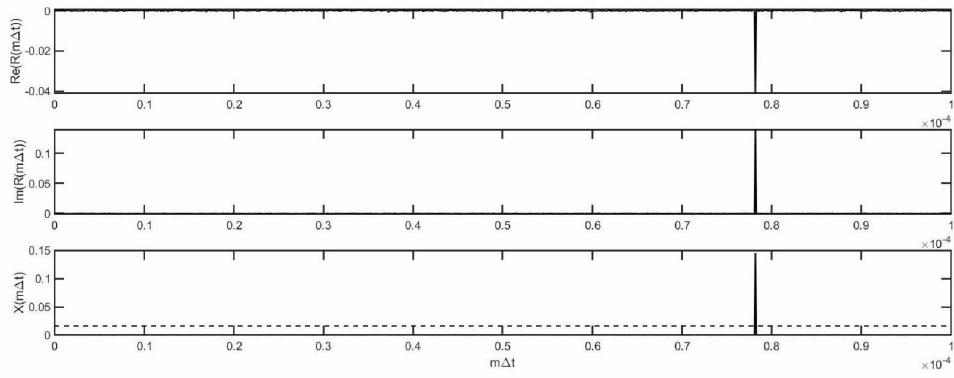
Фиг. 2



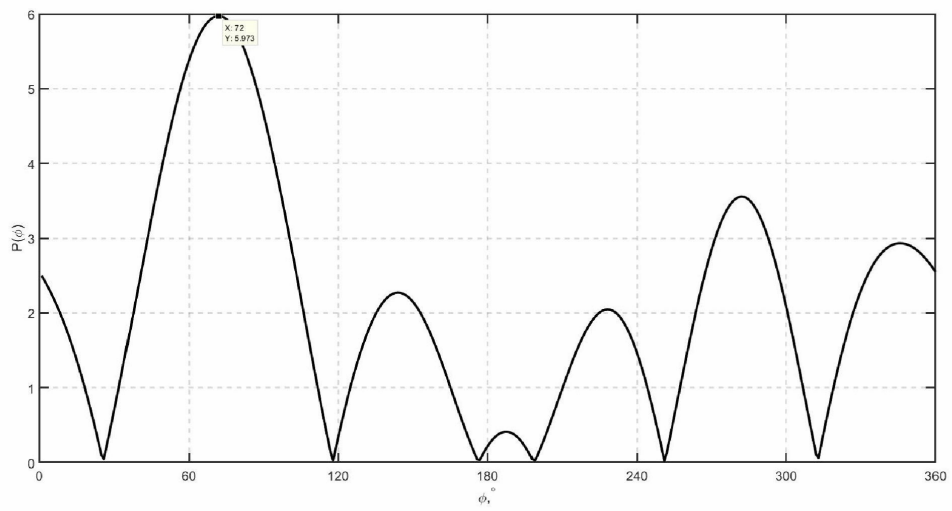
Фиг. 3



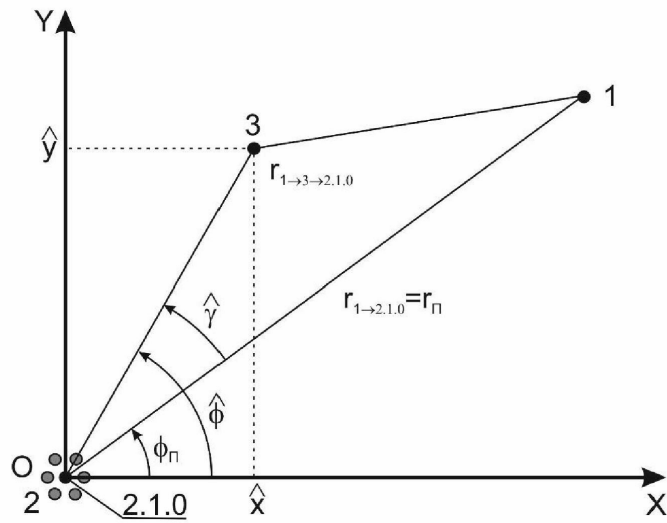
Фиг. 4



Фиг. 5



фиг. 6



Фиг. 7

Таблица 1. Параметры антенной решетки

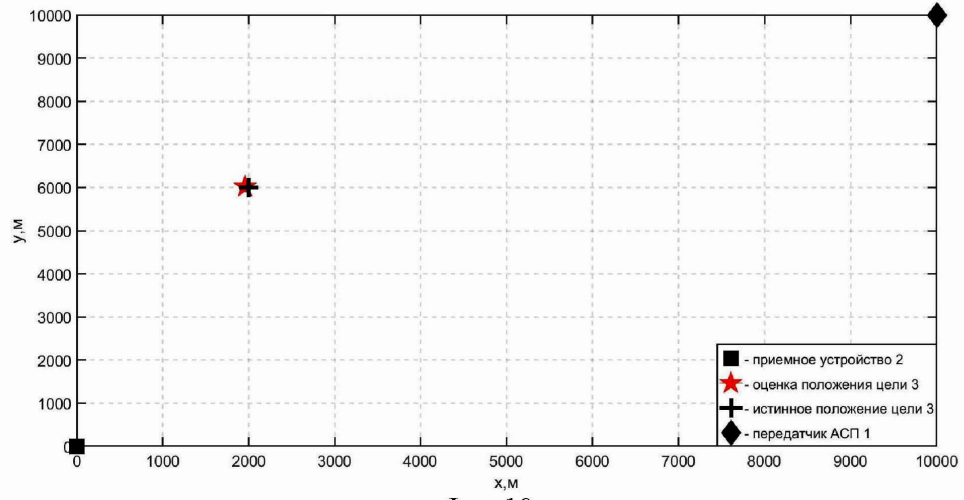
K	r	λ , м	φ_1 , рад	φ_2 , рад	φ_3 , рад	φ_4 , рад	φ_5 , рад	φ_6 , рад
7	$\lambda/2$	0.22	0	$\pi/3$	$2\pi/3$	π	$4\pi/3$	$5\pi/3$

Фиг. 8

Таблица 2. Исходные данные и результаты моделирования

$x_{2.1.0}$, м	$y_{2.1.0}$, м	x_{Π} , м	y_{Π} , м	x , м	y , м	φ , °	$\hat{\varphi}$, °	\hat{x} , м	\hat{y} , м
0	0	10000	10000	2000	6000	71.6	72	1954	6033

Фиг. 9



Фиг. 10