



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*G01S 3/06* (2019.08); *G01S 3/14* (2019.08); *G01S 3/16* (2019.08); *G01S 3/146* (2019.08); *G01S 3/28* (2019.08);  
*G01S 3/32* (2019.08); *G01S 3/74* (2019.08); *G01S 13/44* (2019.08); *G01S 13/48* (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2018146918, 26.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.12.2018Дата регистрации:  
16.01.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2018

(45) Опубликовано: 16.01.2020 Бюл. № 2

Адрес для переписки:

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков,  
54а, ВУНЦ ВВС "ВВА", Центр ОНР и ПНПК

(72) Автор(ы):

Уфаев Владимир Анатольевич (RU),  
Беляев Максим Павлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное казенное  
военное образовательное учреждение  
высшего образования "Военный  
учебно-научный центр Военно-воздушных  
сил "Военно-воздушная академия имени  
профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А.  
Гагарина" (г. Воронеж) Министерства  
обороны Российской Федерации (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2288481 C2, 27.11.2006. RU  
2452974 C1, 10.06.2012. RU 2535174 C1,  
10.12.2014. CN 106842115 A, 13.06.2017. US  
9395196 B1, 19.07.2016. JP 4536 281 B2, 01.09.2010.  
US 20170371022 A1, 28.12.2017.

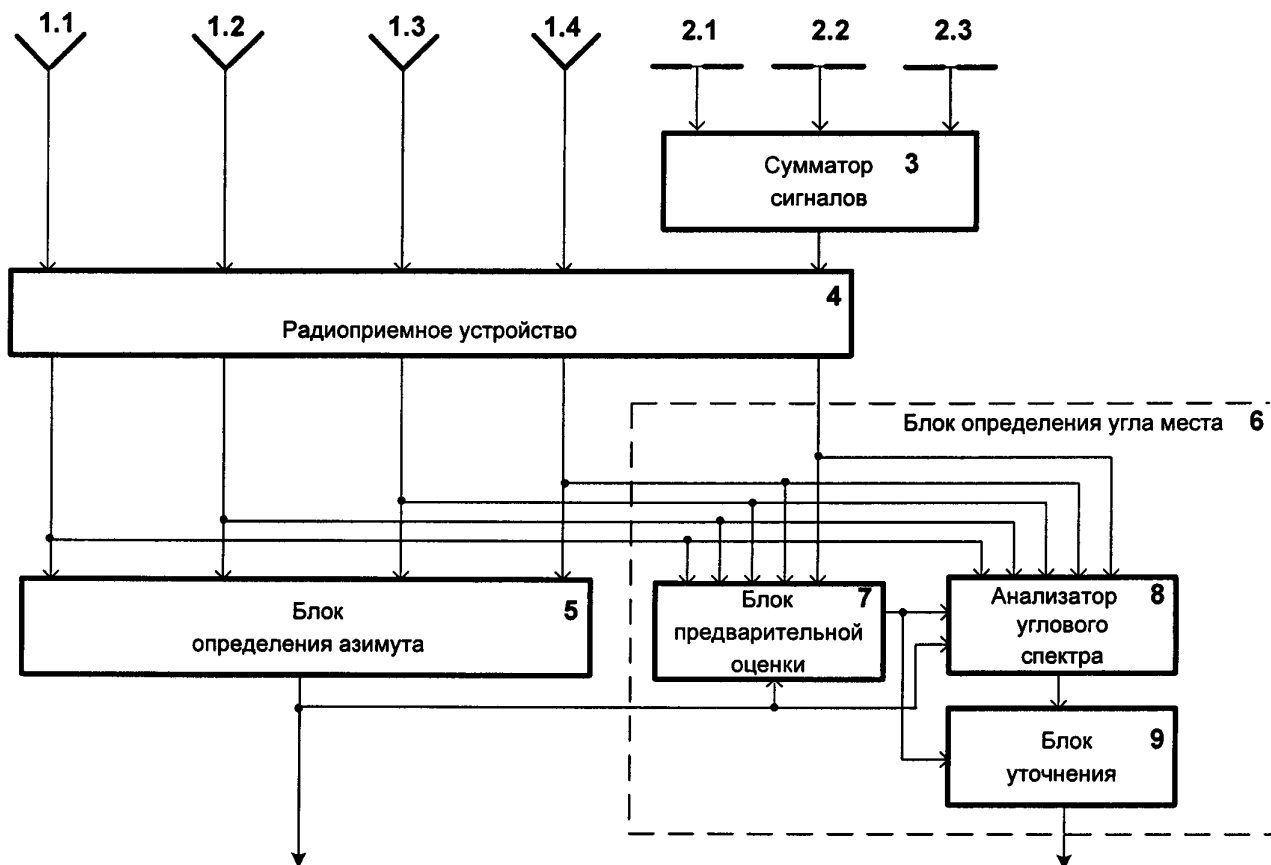
## (54) СПОСОБ ДВУХМЕРНОГО ПЕЛЕНГОВАНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано для двухмерного пеленгования наземных и воздушных объектов по их радиоизлучениям. Достижимый технический результат - повышение точности определения угла места излучателя в 2-6 раз. Способ двухмерного пеленгования включает прием сигналов излучателя с помощью вертикальных вибраторов антенной решетки, параллельной земной поверхности, измерение комплексных амплитуд принятых сигналов и оценивание по результатам измерений азимута излучателя. При этом дополнительно принимают сигналы с помощью горизонтальных вибраторов, суммируют эти сигналы и измеряют комплексную амплитуду суммарного сигнала, результаты всех измерений преобразуют в направлении полученного азимута с учетом амплитудных и

фазовых диаграмм направленности антенн в угловой спектр, по положению максимума которого определяют угол места излучателя, при этом горизонтальные вибраторы располагают в плоскости решетки, фазовые центры совмещают с ее центром, а оси равномерно поворачивают друг относительно друга. Положение максимума углового спектра по углу места предварительно оценивают как арктангенс отношения амплитуды суммарного сигнала, нормированной на сумму значений диаграмм направленности горизонтальных вибраторов в направлении зенита и оценочного азимута, к средней амплитуде сигналов вертикальных вибраторов. Угловой спектр определяют в точке предварительной оценки и в точках, удаленных от нее на константу дифференцирования, и уточняют положение максимума по

интерполяционной формуле. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг.1

RU 2711341 C1

RU 2711341 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*G01S 3/06 (2019.08); G01S 3/14 (2019.08); G01S 3/16 (2019.08); G01S 3/146 (2019.08); G01S 3/28 (2019.08); G01S 3/32 (2019.08); G01S 3/74 (2019.08); G01S 13/44 (2019.08); G01S 13/48 (2019.08)*

(21)(22) Application: **2018146918, 26.12.2018**(24) Effective date for property rights:  
**26.12.2018**Registration date:  
**16.01.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **26.12.2018**(45) Date of publication: **16.01.2020 Bull. № 2**

Mail address:

**394064, g. Voronezh, ul. Starykh Bolshevikov, 54a,  
VUNTS VVS "VVA", Tsentr ONR i PNP**

(72) Inventor(s):

**Ufaev Vladimir Anatolevich (RU),  
Belyaev Maksim Pavlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe kazennoe voennoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Voennyj uchebno-nauchnyj tsentr  
Voennovo-zdushnykh sil "Voennovo-zdushnaya  
akademiya imeni professora N.E. Zhukovskogo  
i YU.A. Gagarina" (g. Voronezh) Ministerstva  
oborony Rossijskoj Federatsii (RU)**

(54) **TWO-DIMENSIONAL DIRECTION FINDING METHOD**

(57) Abstract:

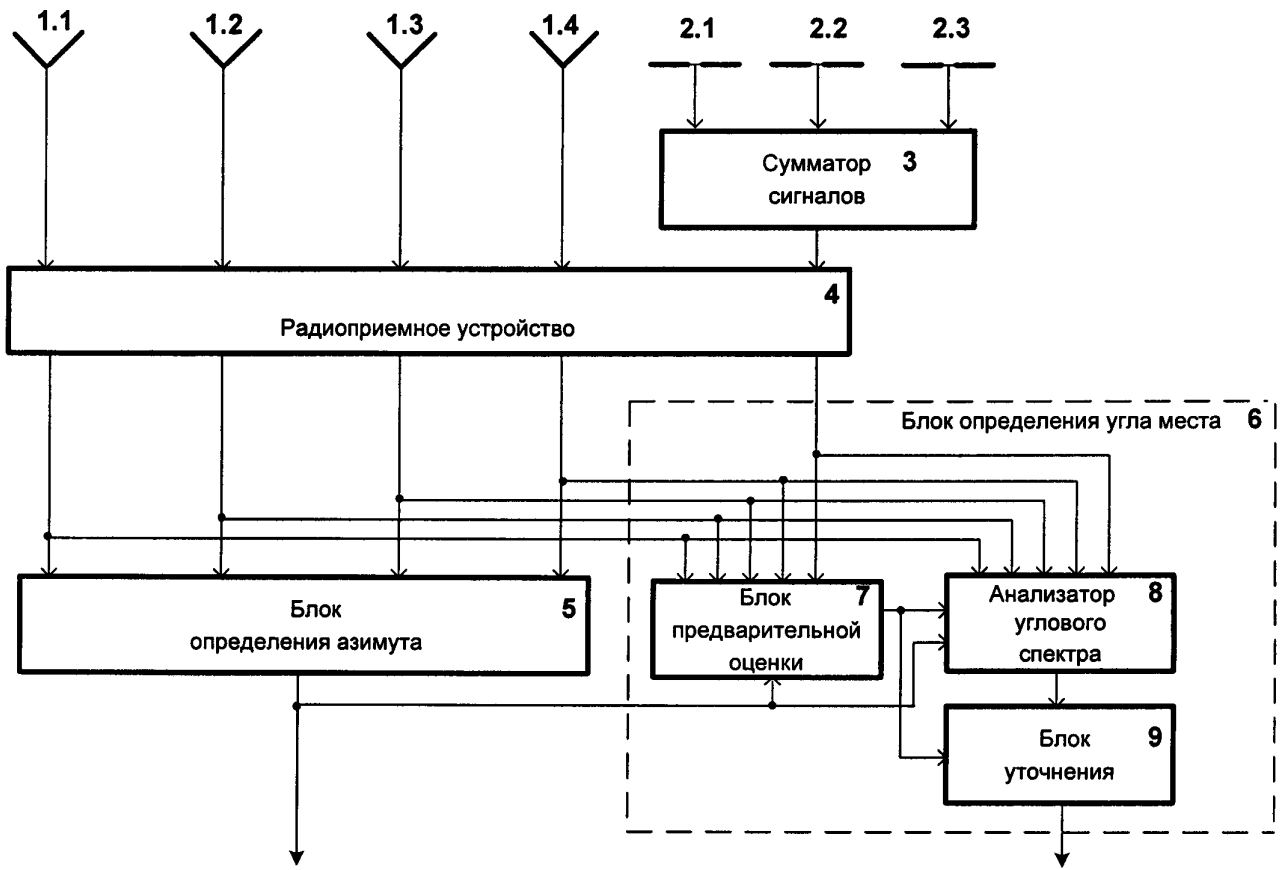
FIELD: radio engineering and communications.

SUBSTANCE: invention relates to radio engineering and can be used for two-dimensional direction finding of ground and air objects on their radio emissions. Method of two-dimensional direction-finding includes reception of signals of the radiator using vertical dipoles of the antenna array, which is parallel to the earth's surface, measurement of complex amplitudes of the received signals and estimation based on measurement results of the azimuth of the radiator. At that, signals are additionally received with the help of horizontal vibrators, these signals are summed up and complex amplitude of the total signal is measured, results of all measurements are converted in direction of obtained azimuth taking into account amplitude and phase diagrams of directivity of antennae into angular spectrum, by position of maximum of which

determining elevation angle of emitter, wherein the horizontal vibrators are located in the plane of the grid, the phase centers are aligned with its center, and the axes are uniformly turned relative to each other. Position of maximum angular spectrum by elevation angle is preliminarily estimated as arctangent of amplitude ratio of total signal normalized to sum of values of directional patterns of horizontal vibrators in direction of zenith and estimated azimuth, to average amplitude of signals of vertical vibrators. Angular spectrum is determined at the point of preliminary evaluation and at points distant from it by the differentiation constant, and the position of the maximum is corrected by the interpolation formula.

EFFECT: high accuracy of determining the elevation angle of emitter in 2–6 times.

3 cl, 3 dwg



Фиг.1

RU 2711341 C1

RU 2711341 C1

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано для двухмерного пеленгования наземных и воздушных объектов по их радиоизлучениям.

Известен способ амплитудного двухмерного пеленгования, включающий прием сигнала идентичными антеннами с симметричными диаграммами направленности относительно фокальных осей, углы ориентации которых сдвинуты один относительно другого с равномерным перекрытием сектора сферического обзора, измерение амплитуд принятых сигналов, преобразование результатов измерений с учетом амплитудных диаграмм направленности антенн в угловой спектр и определение направления на излучатель, как положения максимума углового спектра. [Патент РФ №2620130, 2017 г., G01S 5/04].

Недостатком способа является трудности обеспечения необходимой степени идентичности диаграмм направленности антенн при их установке на носителе.

Известен способ пеленгования, включающий прием сигналов с помощью антенн, образующих параллельную земной поверхности кольцевую решетку вертикальных вибраторов и дополнительных антенн, располагаемых на нормали из ее центра, измерение комплексных амплитуд принятых сигналов, преобразование с учетом фазовых диаграмм направленности антенн измерений в угловой спектр и определение по его максимуму углов прихода радиоволн. [Патент РФ №2567850, 2015 г., G01S 3/00].

Недостатками способа является увеличение габаритов антенно-фидерной системы в вертикальной плоскости вследствие установки дополнительных вертикально разнесенных антенн, что особенно существенно при пеленговании с борта летательного аппарата, а также низкая точность определения угла места воздушных целей наземным пеленгатором вследствие интерференции прямой и отраженной электромагнитной волны при разно знаковых значениях углов их прихода.

Известен способ определения двухмерного пеленга, включающий прием сигналов с помощью антенн, образующих параллельную земной поверхности кольцевую эквидистантную решетку, измерение комплексных амплитуд принятых сигналов, преобразование с учетом фазовых диаграмм направленности антенн результатов измерений в угловой спектр и определение положения его максимума по углам прихода радиоволн в горизонтальной, по азимуту, и в вертикальной, по углу места, плоскости. [Патент РФ №2190236, 2000 г., G01S 5/04].

Недостатком способа является низкая точность определения угла места вблизи его нулевого значения.

Из известных способов наиболее близким к предлагаемому по технической сущности является способ включающий прием сигналов излучателя с помощью вертикальных вибраторов антенной решетки, плоскость которой параллельна земной поверхности, измерение комплексных амплитуд принятых сигналов и оценивание по результатам измерений с учетом фазовых диаграмм направленности антенн двухмерного пеленга. Антенная решетка включает кольцевую эквидистантную решетку из не менее трех вибраторов и центральную антенну, располагаемую в ее центре. [Патент РФ №2288481, 2006 г., G01S 3/00, 5/04].

Определение двухмерного пеленга может осуществляться путем предварительного преобразования комплексных амплитуд в угловой спектр по его максимуму или путем определения по комплексным амплитудам разности фаз между сигналами центральной и других антенн, и расчета по этим разностям фаз азимута и угла места.

Недостатком способа является низкая точность определения угла места особенно вблизи его нулевых до 20 град значений, когда фазовые набеги на элементах решетки изменяются от угла места незначительно, а погрешности измерений обратно

пропорциональны синусу этого угла [Дзвонковская А.Л., Дмитриенко А.Н., Кузьмин А.В. Эффективность измерения углов прихода сигнала радиопеленгаторами на основе метода максимального правдоподобия. - Радиотехника и электроника, 2001, т. 46, №10, с. 1242-1247], и крутопадающих радиоволн с углом падения, превышающим 60 град,  
5 когда эффективность приема вертикальными вибраторами резко снижается.

Технической задачей данного изобретения является повышение точности определения угла места.

Поставленная задача решается за счет того, что в известном способе двухмерного пеленгования, включающем прием сигналов излучателя с помощью вертикальных  
10 вибраторов антенной решетки, плоскость которой параллельна земной поверхности, измерение комплексных амплитуд принятых сигналов и оценивание по результатам измерений азимута излучателя, новым является то, что, дополнительно принимают сигналы с помощью горизонтальных вибраторов, суммируют эти сигналы и измеряют комплексную амплитуду суммарного сигнала, результаты всех измерений преобразуют  
15 в направлении оцененного азимута с учетом амплитудных и фазовых диаграмм направленности антенн в угловой спектр, по положению максимума которого определяют угол места излучателя, при этом горизонтальные вибраторы расположены в плоскости решетки, фазовые центры совмещены с ее центром, а оси равномерно повернуты друг относительно друга.

Поставленная задача решается также за счет того, что положение максимума  
20 углового спектра по углу места предварительно оценивают, как арктангенс отношения амплитуды суммарного сигнала, нормированной на сумму значений диаграмм направленности горизонтальных вибраторов в направлении зенита и оценочного азимута, к средней амплитуде сигналов вертикальных вибраторов.

Поставленная задача решается также за счет того, что угловой спектр определяют  
25 в точке предварительной оценки и в точках удаленных от нее на константу дифференцирования и уточняют положение максимума по интерполяционной формуле

$$\hat{\beta} = \hat{\beta}' - 0,5 \cdot \frac{F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' + \delta) - F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' - \delta)}{F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' + \delta) + F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' - \delta) - 2 \cdot F(\hat{\theta}, \hat{\beta}')} \quad 30$$

где  $\hat{\beta}'$  - предварительная оценка угла места,  $F(\theta, \beta)$  - угловой спектр,  $\hat{\theta}$  - оценка азимута,  $\delta$  - константа дифференцирования.

Решение поставленной технической задачи основывается на учете различий уровней  
35 сигналов принимаемых вертикальными и горизонтальными вибраторами. Амплитуды принятых сигналов определяются углами ориентации вектора электрического поля относительно антенн. Зависимости амплитуды от угла места горизонтальных и вертикальных вибраторов имеют разнонаправленный характер, при приеме электромагнитных волн с линейной поляризацией пропорциональны синусу и косинусу  
40 угла места излучателя. Привлечением горизонтальных вибраторов достигается повышение эффективности приема крутопадающих радиоволн при больших значениях углов места и увеличение крутизны дискриминационной характеристики в области малых значений с соответствующим повышением точности. Сигналы горизонтальных вибраторов дополнительно зависят от азимута. Указанные особенности приводят к  
45 необходимости учета совместно фазовых (способ-прототип) и амплитудных диаграмм направленности антенн. Операцией суммирования сигналов горизонтальных вибраторов с совмещенными фазовыми центрами, следовательно, с одинаковой начальной фазой обеспечивается формирование только одного относительно способа-прототипа

дополнительного канала приема, а преобразованием в угловой спектр в направлении полученного азимута, действиями по предварительному оцениванию и уточнению угла места - сокращение потребного количества операций обработки.

Комплексирование систем вертикальных и горизонтальных вибраторов, учет указанных закономерностей в соответствии с предложенными новыми действиями, условиями и порядком их выполнения дает требуемый эффект, позволяет решить поставленную техническую задачу: повысить точность определения угла места прихода радиоволн.

Указанные преимущества, а также особенности настоящего изобретения поясняются вариантом его выполнения со ссылками на прилагаемые фигуры.

На фиг. 1 представлена структурная схема радиопеленгатора для реализации заявленного способа;

на фиг. 2 показано расположение антенн радиопеленгатора в горизонтальной плоскости с координатными осями  $x$ ,  $y$ , нормированными на длину волны излучения;

на фиг. 3 - графики зависимостей средней квадратичной погрешности определения углов прихода радиоволн от угла места.

Радиопеленгатор, фиг. 1, содержит: 1.1-1.4 - антенны-вертикальные вибраторы, 2.1-2.3 - антенны-горизонтальные вибраторы, 3 - сумматор сигналов, 4 - радиоприемное устройство, 5 - блок определения азимута, 6 - блок определения угла места, содержащий

7 - блок предварительной оценки, 8 - анализатор углового спектра, 9 - блок уточнения.

Антенны 1.1-1.4 подключены через радиоприемное устройство 4 ко входам блока определения азимута 5 и первым входам блока определения угла места 6, блока предварительной оценки 7 и анализатора углового спектра 8. Вторые входы блока определения угла места 6, блока предварительной оценки 7 и анализатора углового спектра 8 соединены с антеннами 2.1-2.3 через сумматор сигналов 3 и радиоприемное устройство 4. Выход блока определения азимута 5 соединен с третьим входом блока определения угла места 6, блока предварительной оценки 7 и анализатора углового спектра 8, выход которого соединен с первым входом блока уточнения 9, ко второму входу которого и четвертому входу анализатора углового спектра 8 подключен выход блока предварительной оценки 7.

Выходами радиопеленгатора являются выходы блока определения азимута 6 и блока уточнения 9 из состава блока определения угла места 6.

Антенны 1.1-1.3 в количестве не менее трех - симметричные вертикальные вибраторы, образуют кольцевую решетку, плоскость которой параллельна земной поверхности, расположены эквидистантно по окружности, вертикальный вибратор 1.4 установлен в центре решетки. На фиг. 2 эти антенны показаны точками и обозначены заглавными буквами  $A_1$ - $A_4$ . В рассматриваемом далее примере число антенн решетки  $N=3$ , ее радиус  $R$  ограничен из условия обеспечения однозначности измерений разности фаз между сигналами антенн решетки и центрального вибратора:  $R < 0,5\lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны излучения.

Антенны 2.1-2.3 - горизонтальные вибраторы, располагают в плоскости решетки, они показаны на фиг. 2 толстыми линиями и обозначены прописными буквами  $a_1$ - $a_3$ . Фазовые центры горизонтальных вибраторов совмещают с центром решетки, а оси ориентируют по линиям «центр - вертикальный вибратор», то есть равномерно по угловому расстоянию друг относительно друга. Число горизонтальных вибраторов равно  $N$  при  $N$  нечетном, иначе вдвое меньше.

Сумматор сигналов 3 выполнен по одному из известных вариантов приведенных, например в [Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных

колебаний. Под. ред. З.И. Моделя. - М.: Сов. радио, 1980.]

Радиоприемное устройство 4 с числом каналов  $N+2$  выполняет фильтрацию и синхронное преобразование принятых сигналов с цифровым представлением в виде комплексных амплитуд (квадратурных составляющих), например, по варианту, приведенному в [Побережский К.С. Цифровые радиоприемные устройства. М., Радио и связь, 1987, с. 67-68, рис. 3.140]. Тем самым выполняется измерение комплексных амплитуд принятых сигналов. Может быть использован двухканальный вариант приема с поочередным подключением антенн решетки и сумматора сигналов относительно центрального вертикального вибратора [Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радио мониторинг: задачи, методы и средства. - М: Горячая линия - Телеком, 2006, с. 274-277].

В блоках определения азимута 5 и угла места 6 реализуются преобразования методами цифровой обработки сигналов.

Двухмерное пеленгование происходит следующим образом.

Радиоизлучение пеленгуемого источника принимают антеннами 1.1-1.4, 2.1-2.3.

Нормированная амплитудная диаграмма направленности вертикальных симметричных вибраторов определяется формулой [Белоцерковский Г.Б. Антенны. - М: ОБОРОНГИЗ, 1962, с. 146]

$$G(\beta) = \left| \frac{\cos(\sin \beta \cdot \pi \cdot L / \lambda) - \cos(\pi \cdot L / \lambda)}{\cos \beta \cdot (1 - \cos(\pi \cdot L / \lambda))} \right| \rightarrow \cos \beta, \quad (1)$$

где  $\beta$  - угол места,  $L$  - длина вибратора,  $\lambda$  - длина волны излучения,  $\pi=3,14\dots$

Отсчет положительных значений угла места осуществляется от горизонта вверх. Стрелкой указан предел для элементарного вибратора при  $L/\lambda \rightarrow 0$ .

Диаграмма направленности горизонтальных вибраторов с учетом поворотов фокальных осей антенн описывается формулой

$$G'_n(\theta, \beta) = G(\arccos(\sin \beta \cdot \cos(\theta - \alpha' \cdot n'))) \rightarrow \sin \beta \cdot \cos(\theta - \alpha' \cdot n'), \quad (2)$$

где  $n'=0, \dots, N'-1$  - номер горизонтального вибратора,  $N'$  - число горизонтальных вибраторов,  $\alpha'=2\pi/N'$  - квант углового положения горизонтальных вибраторов,  $\theta$  - азимут с отсчетом положительных значений по часовой стрелке от фокальной оси вибратора с номером  $n'=0$ .

В случае когда излучателем является вертикальный вибратор с диаграммой направленности  $G_p(\beta)$  комплексные амплитуды сигналов на выходе вертикальных вибраторов определяются углом места  $\beta_0$  излучателя

$$\dot{U}_n = \dot{A} \cdot G_p(\beta_0) \cdot G(\beta_0) \cdot e^{i\varphi_n(\theta_0, \beta_0)}, \quad \dot{U}_{N'} = \dot{A} \cdot G_p(\beta_0) \cdot G(\beta_0), \quad (3)$$

где  $\dot{A}$  - комплексная амплитуда сигнала всенаправленного излучателя в центре решетки,  $\varphi_n(\theta, \beta) = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda} \cdot \cos \beta \cdot \cos(\theta - \alpha \cdot n)$  - фазовая диаграмма направленности антенн кольцевой решетки,  $n=0, \dots, N-1$ ,  $\alpha=2\pi/N$  - квант углового положения ее антенн,  $R$  - радиус кольцевой решетки,  $\lambda$  - длина волны излучения,  $i$  - мнимая единица.

Сигналы на выходе горизонтальных вибраторов дополнительно зависят от азимута  $\theta_0$  излучателя:

$$\dot{u}_{n'} = \dot{A} \cdot G_p(\beta_0) \cdot G'_n(\theta_0, \beta_0), \quad (4)$$

где  $n'=0, \dots, N'-1$ .



В соответствии с формулами (3), (4), (1), (2) амплитуда сигналов вертикальных и горизонтальных вибраторов различным образом зависит от угла прихода радиоволн в вертикальной плоскости, в пределе пропорционально его косинусу и синусу. Это свойство используется далее при пеленговании.

5 В сумматоре сигналов 3 выполняют когерентное сложение сигналов горизонтальных вибраторов

$$\dot{u}_{\Sigma} = \sum_{n'=0}^{N'-1} \dot{u}_{n'} = \dot{A} \cdot G_p(\beta_0) \cdot G'_{\Sigma}(\theta_0, \beta_0). \quad (5)$$

10 Суммарная диаграмма направленности горизонтальных вибраторов определяется по формуле

$$G'_{\Sigma}(\theta, \beta) = \sum_{n'=0}^{N'-1} G'_{n'}(\theta, \beta) \rightarrow \sin \beta \cdot f(\theta) \rightarrow \sin \beta \cdot \sum_{n'=0}^{N'-1} \cos(\theta - \alpha' \cdot n'), \quad (6)$$

15 где  $f(\theta) = \sum_{n'=0}^{N'-1} G'_{n'}(\theta, \pi/2)$  - суммарная диаграмма направленности горизонтальных вибраторов в зенитном направлении.

В радиоприемном устройстве 4 измеряют комплексную амплитуду сигналов, принятых вертикальными вибраторами и суммарного сигнала горизонтальных вибраторов

$$20 \quad \hat{U}_n = \dot{U}_n + \dot{\xi}_n, \quad \hat{u}_{\Sigma} = \dot{u}_{\Sigma} + \dot{\xi}_N, \quad (7)$$

где  $\dot{\xi}_n$  - шумы каналов приема.

По результатам измерений комплексных амплитуд вертикальных вибраторов в блоке 5 определяют азимут на излучатель одним из известных способов, например по методике приведенной в [Саидов А.С., Тагилаев А.Р., Алиев Н.М., Асланов Г.К. Проектирование фазовых автоматических радиопеленгаторов. - М.: Радио и связь, 1997, с. 40] выполняя преобразования следующего вида

$$30 \quad \hat{\theta} = \arg\left(N^{-1} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \Delta \hat{\varphi}_n \cdot e^{i \cdot \alpha \cdot n}\right), \quad (8)$$

где  $\Delta \hat{\varphi}_n = \arg(\hat{U}_n \cdot \hat{U}_N^*)$  - разность фаз между сигналами антенн кольцевой решетки и центрального вибратора,  $\arg(\cdot)$  - аргумент (фаза) комплексной величины, охваченной скобками, звездочка - операция комплексного сопряжения.

35 Результаты всех измерений в блоке 6 преобразуют в угловой спектр по максимуму которого определяют угол места излучателя.

Угловой спектр определяют по известному правилу [Козьмин В.А., Уфаев В.А. Оценка качества вычисления пеленгов в процессе пеленгования. Антенны. 2009. Вып. 4(123), с. 71-72], как отношение квадрата модуля суммы произведения комплексных амплитуд сигналов каналов приема на их комплексно сопряженные диаграммы направленности к сумме квадратов модулей этих диаграмм направленности, по формуле

$$45 \quad F(\theta, \beta) = \frac{\left| G(\beta) \cdot \left( \hat{U}_n + \sum_{n=0}^{N-1} \hat{U}_n \cdot \exp(-i \cdot \varphi_n(\theta, \beta)) \right) + \hat{u}_{\Sigma} \cdot G'_{\Sigma}(\theta, \beta) \right|^2}{(N+1) \cdot G^2(\beta) + D_{\Sigma}^2(\hat{\theta}, \beta)}. \quad (9)$$

Для сокращения числа операций обработки по определению двумерного углового спектра и положения его максимума значения спектра получают, во-первых в

направлении полученного азимута, во-вторых в окрестности первичной оценки угла места.

Указанную первичную оценку выполняют в блоке 7 предварительной оценки как арктангенс отношения амплитуды суммарного сигнала, нормированной на сумму значений диаграмм направленности горизонтальных вибраторов в направлении зенита и оценочного азимута, к средней амплитуде сигналов вертикальных вибраторов, по формуле

$$\hat{\beta}' = \arctg \left( \frac{|\hat{u}_z| / f(\hat{\theta})}{\frac{1}{N+1} \cdot \sum_{n=0}^{N+1} |\hat{U}_n|} \right). \quad (10)$$

Эта формула непосредственно следует из формул (3), (4) при предельных значениях диаграмм направленности (1), (2).

В отсутствие шумов и в пределе вибратора с косинусной диаграммой направленности первичная оценка (10) является точной. При невыполнении этих условий результат уточняется. Осуществляется это с применением интерполяции и определения поправки через отношение первой ко второй производной углового спектра в точке первичной оценки. Производные получают численным методом, для чего в анализаторе углового спектра 8 определяют три значения углового спектра: в точке предварительной оценки и в точках удаленных от нее на константу дифференцирования  $\delta$ , рекомендуемое значение которой порядка  $\delta=0,002$  радиана.

Уточняют положение максимума в блоке 9 уточнения по интерполяционной формуле [Уфаев В.А., Волобуев М.Ф. Измерение задержки радиосигналов с применением дискретных преобразований Фурье. Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. №3, т. 14, с. 5]

$$\hat{\beta} = \hat{\beta}' - 0,5 \cdot \frac{F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' + \delta) - F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' - \delta)}{F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' + \delta) + F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' - \delta) - 2 \cdot F(\hat{\theta}, \hat{\beta}')} \cdot \delta. \quad (11)$$

Результаты двумерного пеленгования (8), (11) выдают потребителю.

Эффективность изобретения выражается в повышении точности определения угла места излучателя. Количественная оценка выполнена методом имитационного моделирования, для следующих условий. Исследовался радиопеленгатор с отношением радиуса решетки к длине волны излучения 0,4 при отношении амплитуды сигнала к среднему квадратическому значению шумов приема равном 37 для источника, находящегося в горизонтальной плоскости, что соответствует ошибке измерения азимута 0,5 град. Имитировалось излучение от вертикального вибратора с косинусной амплитудной диаграммой направленности. Число статистических экспериментов для каждого положения источника 5000. Результаты имитационного статистического моделирования показаны на фиг. 3 в виде зависимостей средних квадратических погрешностей двумерного пеленгования от угла места.

Средняя квадратическая погрешность  $\sigma$  определялась как корень квадратный из среднего квадрата разностей измеренных и истинных значений углов прихода радиоволн. Тонкой сплошной линией показана зависимость для азимута, другими линиями - для угла места. Сплошной линией с кружками выделены результаты, обеспечиваемые предлагаемым способом, пунктиром с ромбиками - для способа-прототипа. Анализ представленных результатов показывает, что в предлагаемом способе погрешность измерения угла места в диапазоне от 0 до 80 град в 2-6 раз меньше чем для способа-

прототипа. Наибольший выигрыш достигается вблизи границ указанного диапазона, до 20 град и свыше 60 град.

Моделирующая программа разработана в системе Mathcad, имеется у авторов и патентообладателя.

5 Таким образом, предложенное техническое решение обеспечивает повышение точности определения угла места излучателя в 2-6 раз.

(57) Формула изобретения

1. Способ двухмерного пеленгования, включающий прием сигналов излучателя с  
10 помощью вертикальных вибраторов антенной решетки, плоскость которой параллельна земной поверхности, измерение комплексных амплитуд принятых сигналов и оценивание по результатам измерений азимута излучателя, отличающийся тем, что дополнительно принимают сигналы с помощью горизонтальных вибраторов, суммируют эти сигналы и измеряют комплексную амплитуду суммарного сигнала, результаты всех измерений  
15 преобразуют в направлении оцененного азимута с учетом амплитудных и фазовых диаграмм направленности антенн в угловой спектр, по положению максимума которого определяют угол места излучателя, при этом горизонтальные вибраторы расположены в плоскости решетки, фазовые центры совмещены с ее центром, а оси равномерно повернуты друг относительно друга.

20 2. Способ двухмерного пеленгования по п. 1, отличающийся тем, что положение максимума углового спектра по углу места предварительно оценивают как арктангенс отношения амплитуды суммарного сигнала, нормированной на сумму значений диаграмм направленности горизонтальных вибраторов в направлении зенита и оценочного азимута, к средней амплитуде сигналов вертикальных вибраторов.

25 3. Способ двухмерного пеленгования по п. 1 или 2, отличающийся тем, что угловой спектр определяют в точке предварительной оценки и в точках, удаленных от нее на константу дифференцирования, и уточняют положение максимума по интерполяционной формуле

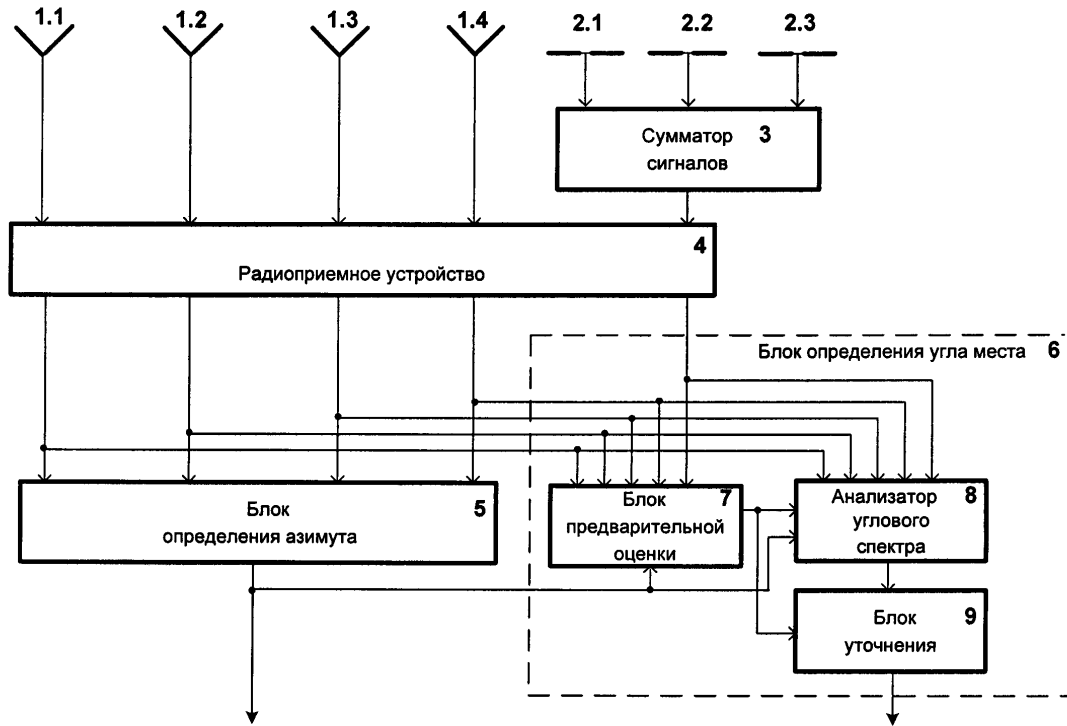
$$30 \quad \hat{\beta} = \hat{\beta}' - 0,5 \cdot \frac{F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' + \delta) - F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' - \delta)}{F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' + \delta) + F(\hat{\theta}, \hat{\beta}' - \delta) - 2 \cdot F(\hat{\theta}, \hat{\beta}')},$$

где  $\hat{\beta}'$  - предварительная оценка угла места,  $F(\theta, \beta)$  - угловой спектр,  $\hat{\theta}$  - оценка азимута,  $\delta$  - константа дифференцирования.

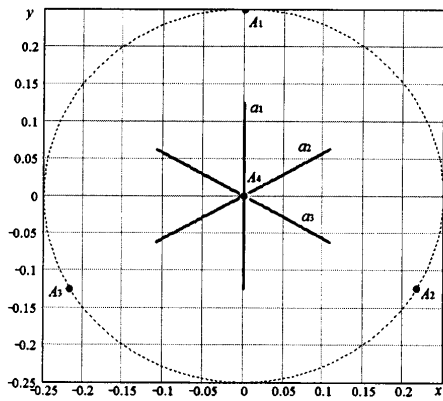
35

40

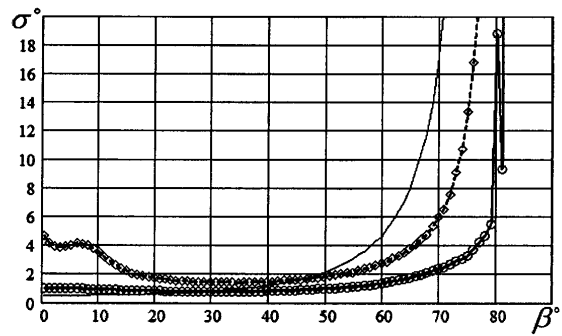
45



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3