



(19) RU (11) 2052832 (13) C1

(51) 6 G 01 S 3/72

Комитет Российской Федерации  
по патентам и товарным знакам

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**  
к патенту Российской Федерации

1

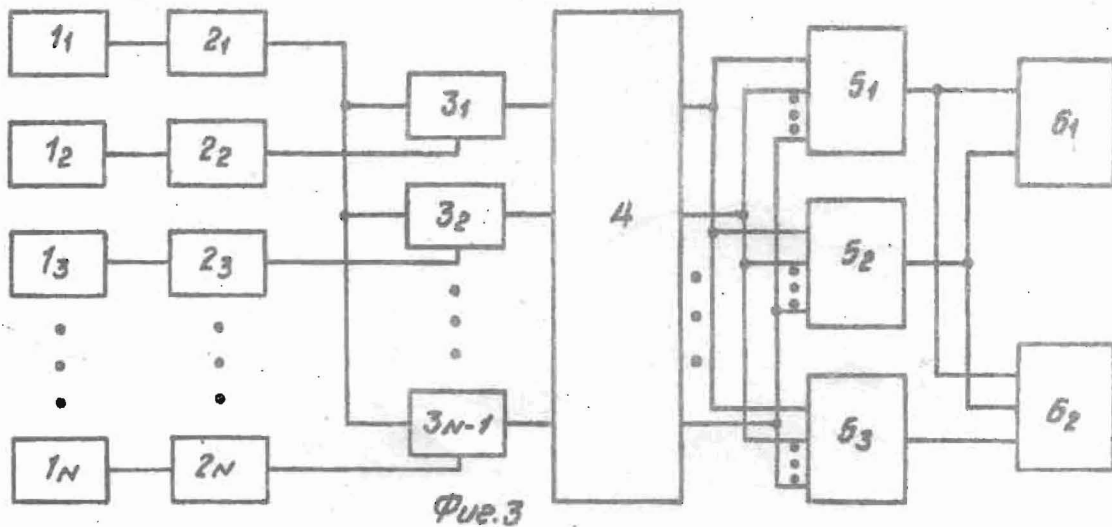
(21) 5008436/09 (22) 12.07.91  
 (46) 20.01.96 Бюл. № 2  
 (72) Армионов А.Н., Дубинин Д.В.  
 (71) (73) Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники  
 (56) IEEE transaction on aerospace and electronics System, v.AES-17, N 6, 1981 (прототип).  
 (54) **ФАЗОВЫЙ ПЕЛЕНГАТОР**  
 (57) Использование: для измерения траектории движущихся объектов радиолокационных и радионавигационных систем. Сущность изобретения: фазовый пеленгатор содержит  $n$  антенных элементов  $1(1), 1(2) \dots 1(n)$ ,  $n$  приемно-усилительных блоков  $2(1), 2(2) \dots 2(n)$ ,  $(n - 1)$  фазометров  $3(1),$

2

$3(2) \dots 3(n - 1)$ , блок устранения неоднозначности  $4$ , три весовых сумматора  $5(1), 5(2), 5(3)$ , блок вычисления азимута  $6(1)$ , блок вычисления угла места  $6(1)$  и  $6(2)$ , при этом один из антенных элементов вертикально поднят над плоскостью антенной решетки, что дает возможность, используя дополнительную информацию, содержащуюся в разности фаз, получить оценку третьего направляющего косинуса и более точно оценить угол места.  $1(1)-2(1)-3(1)-4-5(1)-6(1), 1(2)-2(2)-3(1)-4-5(2)-6(2), \dots, 1(n)-2(n)-3(n-1)-4-5(3)-6(2), 2(2)-3(1), 2(1)-3(2), 2(3)-3(2), 2(1)-3(2), 2(1)-3(n-1), 5(2)-6, 5(1)-6(2).$  5 ил.

RU  
2052832  
C1

RU 2052832 C1



Изобретение относится к области пассивной радиолокации, а именно к оценке углового положения источника электромагнитного излучения в двух ортогональных плоскостях, и может быть использовано для измерения траекторий движущихся объектов в радиолокационных и радионавигационных системах, устройствах.

Угловое положение источника электромагнитного излучения определяется двумя угловыми координатами  $\alpha$  (азимут  $A_z$ ) и  $\beta$  (угол места  $E_l$ ) или парой направляющих косинусов к осям прямоугольной системы координат (расположенных на поверхности Земли). Для совместного определения  $A_z$  и  $E_l$  фазовыми методами необходимо наличие двух пар антенн, расположенных на перпендикулярных прямых и образующих базы интерферометра. Разности фаз  $\varphi_{12}$  и  $\varphi_{34}$  определяются следующими выражениями:

$$\varphi_{12} = \frac{2\pi}{\lambda} l_{12} \cos\alpha \cdot \cos\beta \quad (1)$$

$$\varphi_{34} = \frac{2\pi}{\lambda} l_{34} \sin\alpha \cdot \cos\beta$$

где  $l_{12}$ ,  $l_{34}$  — расстояние, на которое разнесены соответственно антенны;

$\alpha$  — азимут, угол между векторами  $OC_1$  и осью  $X$ ;

$\beta$  — угол места, угол между векторами  $OC_1$  и  $OC$ .

Решая эту систему уравнений, находим оценки величин  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{\varphi_{34}}{l_{34}} \right] + \left[ \frac{\varphi_{12}}{l_{12}} \right]$$

$$\beta = \arctg \left[ \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\left[ \frac{\varphi_{34}}{l_{34}} \right]^2 + \left[ \frac{\varphi_{12}}{l_{12}} \right]^2} \right] \quad (2)$$

Ошибки, возникающие при оценке  $\alpha$  и  $\beta$ , могут характеризоваться условными дисперсиями этих величин и определяются следующими выражениями:

$$\sigma_{\alpha} \cong \frac{\lambda}{2\pi l} G_{\varphi} \quad \text{при условии, что } l_{12} = l_{34} = l$$

$$G_{\beta} \cong - \frac{1}{\sin\beta} \frac{\lambda}{2\pi l} \sigma_{\varphi} \quad (3)$$

Если база между антеннами превышает  $\lambda/2$ , то возникает неоднозначность отсчета в секторе  $[-\pi, \pi]$  или сужается сектор однозначности. Для увеличения точности оценок углового положения необходимо увеличивать базу между антеннами. Для решения этой проблемы вводят дополнительные антенны, которые необходимы для устранения неоднозначности. Базы между

дополнительными антеннами меньше, чем база между антеннами для точного определения угловых координат, и по одной из дополнительных пар антенн должен быть получен однозначный отсчет в секторе по каждой координате.

Известен фазовый пеленгатор системы мини-ТРЭК, предназначенный для определения траекторий искусственных спутников Земли. Известный фазовый пеленгатор построен по принципам, изложенным выше и содержит 8 антенн точного определения угловых координат источника сигнала и 5 антенн для устранения неоднозначности по методу уточнений, угловые координаты определяются вычислителем по выражениям (2), (3).

Недостатками такого пеленгатора является следующее: во-первых, в процессе измерений с фазометров снимается  $n = m + K$  разностей фаз,  $m$  — по одному плечу,  $K$  — по другому плечу, перпендикулярному первому, а в процессе оценки угловых координат  $\alpha$  и  $\beta$  используется только две, измеренные между антеннами. Информация об угловых координатах, содержащаяся в остальных разностях фаз, не учитывается. Во-вторых, на точность оценки угловых координат влияют только антенны, расстояние между которыми максимально, а не все участвующие в измерениях. В-третьих, для улучшения точности оценок необходимо увеличивать расстояние между антеннами, но при этом уменьшается сектор однозначности для этой базы и, следовательно, уменьшается вероятность правильного устранения неоднозначности, т. е. достоверность оценок. В-четвертых, среднеквадратическое отклонение (СКО) угла места зависит от углового положения источника излучения в вертикальной плоскости, и при малых углах места ошибки резко возрастают.

Наиболее близким по технической сущности является известный фазовый пеленгатор, содержащий 5 слабонаправленных антенных элемента, расположенных на двух перпендикулярных плечах и образующих 2 пары на плоскости, где один из антенных элементов расположен в точке пересечения плеч, 5 приемно-усилительных трактов и 4 фазометра, два из которых подключены к приемно-усилительным трактам одного плеча, а два других — другого, причем выходы двух первых фазометров подключены к 2 входам первого устройства устранения неоднозначности, а выходы вторых двух фазометров — к 2 входам второго устройства устранения неоднозначности, выходы устройства устранения неоднозначности под-

ключены к 2 входам вычислителя координат углового положения источника сигнала (4).

Недостатком этого фазового пеленгатора является то, что СКО угла места зависит от углового положения источника излучения в вертикальной плоскости. При малых углах места ошибки резко возрастают. Кроме того, в процессе оценки утрачивается информация об угловых координатах, содержащаяся в разности фаз между антеннами, имеющими меньшую базу, и наличие этих антенн не влияет на точность оценок.

Цель изобретения — повышение точности оценок координат углового положения источника сигнала в вертикальной плоскости фазовых пеленгаторов с плоскими антенными решетками.

Это достигается тем, что в фазовом пеленгаторе, содержащем  $N$  антенных элементов, расположенных на плоскости,  $N$  приемно-усилительных трактов,  $(N-1)$  фазометров, блок устранения неоднозначности с  $(N-1)$  выходами, один из антенных элементов вертикально поднят над плоскостью антенной решетки, введено три весовых сумматора,  $(N-1)$  вход каждого из которых подключен к блоку устранения неоднозначности, блок вычисления азимута и блок вычисления угла места, 2 входа первого из которых подключены к выходам двух первых весовых сумматоров, 3 входа второго из которых подключены к выходам весовых сумматоров, причем фазометры подключены так, что одна из антенн является опорной.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием новых блоков — трех весовых сумматоров, блока вычисления азимута и блока вычисления угла места и, следовательно, соответствует критерию "новизна".

Рассмотрим две произвольные точки в пространстве (см. фиг. 2). Положение точек определяется их координатами, а именно: точка А с координатами  $(X_A, Y_A, Z_A)$  и В  $(X_B, Y_B, Z_B)$ . Пусть источник сигнала расположен в точке С, удаление которой от точек А и В значительно больше отрезка АВ. Тогда разность фаз между точками А и В, создаваемая источником сигнала С, равна

$$\varphi_{AB} = \frac{2\pi}{\lambda} |AB| \cos \varphi_{AB, OC} \quad (4)$$

где  $\varphi_{AB, OC}$  — угол между отрезками АВ и осью ОС;

$|AB|$  — длина отрезка АВ.

Рассмотрим направляющие косинусы вектора ОС:

$$\cos \gamma_1 = V = \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}}$$

$$\cos \gamma_2 = U = \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}}$$

$$\cos \gamma_3 = W = \frac{z_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}} \quad (5)$$

где  $C_0(x_0, y_0, z_0)$  — точка, расположенная на векторе ОС.

Рассмотрим множитель  $\cos \varphi_{AB, OC}$  в выражении (4).

$$\cos \varphi_{AB, OC} = \frac{\vec{AB} \cdot \vec{OC}}{|\vec{AB}| |\vec{OC}|} =$$

$$\frac{(x_B - x_A)x_0 + (y_B - y_A)y_0 + (z_B - z_A)z_0}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}}$$

$$\frac{(x_B - x_A)x_0 + (y_B - y_A)y_0 + (z_B - z_A)z_0}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}}$$

Подставим все это в уравнение (4) и получим:

$$\varphi_{AB} = \frac{2\pi}{\lambda} [(x_B - x_A) \cos \gamma_1 + (y_B - y_A) \cos \gamma_2 + (z_B - z_A) \cos \gamma_3] \quad (6)$$

при этом учтено, что

$$|AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}$$

Подставим все это в уравнение (6) с учетом уравнений (5) и получим:

$$\varphi_{AB} = \frac{2\pi}{\lambda} [(x_B - x_A) \cdot V + (y_B - y_A) \cdot U + (z_B - z_A) \cdot W]$$

Далее заменим

$$n_x = \frac{x_B - x_A}{\lambda}, \quad n_y = \frac{y_B - y_A}{\lambda}, \quad n_z = \frac{z_B - z_A}{\lambda}$$

и получим более компактный вид формулы:

$$\varphi_{AB} = 2\pi [n_x \cdot V + n_y \cdot U + n_z \cdot W] \quad (7)$$

Пусть антенная система состоит из  $N$  антенн. При наличии погрешностей в виде фазовых ошибок, распределенных нормально с нулевыми средними значениями и известной корреляционной матрицей получим условную плотность распределения вероятностей фазовых ошибок при фиксированных  $V, U, W$

$$D(V^*) = \sigma_{\varphi}^2 \cdot \frac{1}{\bar{n}_x^T P_{yz} \bar{n}_x}$$

$$D(U^*) = \sigma_{\varphi}^2 \cdot \frac{1}{\bar{n}_y^T P_{xz} \bar{n}_y}$$

$$D(W^*) = \sigma_{\varphi}^2 \cdot \frac{1}{\bar{n}_z^T P_{xy} \bar{n}_z}$$

5

$$\begin{cases} \frac{\partial W[\bar{\varphi}/V, U, W]}{\partial v} = 0 \\ \frac{\partial W[\bar{\varphi}/V, U, W]}{\partial u} = 0 \\ \frac{\partial W[\bar{\varphi}/V, U, W]}{\partial w} = 0 \end{cases}$$

и получим

где  $\bar{\varphi}$  - вектор полных разностей фаз в единицах  $2\pi$ ;

K - некоторый коэффициент пропорциональности;

$\bar{n}_x, \bar{n}_y, \bar{n}_z$  - векторы масштабных коэффициентов.

Определим оценки направляющих косинусов V, U, W по максимуму их условной плотности распределения

$$10 \quad V^* = \frac{\bar{\varphi}^T P_{yz} \bar{n}_x}{\bar{n}_x^T P_{yz} \bar{n}_x}, \quad V^* = \bar{\varphi}^T \bar{q}_v U^* = \frac{\bar{\varphi}^T P_{xz} \bar{n}_y}{\bar{n}_y^T P_{xz} \bar{n}_y}$$

$$15 \quad W^* = \bar{\varphi}^T \bar{q}_w, \quad W^* = \frac{\bar{\varphi}^T P_{xy} \bar{n}_z}{\bar{n}_z^T P_{xy} \bar{n}_z}, \quad W^* = \bar{\varphi}^T \bar{q}_w$$

где  $P_{yz}, P_{xz}, P_{xy}$  - квадратные матрицы размером  $(N-1) \times (N-1)$ ;

и

$$P_{yz} = B^{-1} + [B^{-1} \bar{n}_x \bar{n}_x^T B^{-1} - B^{-1} \bar{n}_x \bar{n}_z^T B^{-1} - B^{-1} \bar{n}_z \bar{n}_x^T B^{-1} + B^{-1} \bar{n}_z \bar{n}_z^T B^{-1}] \cdot [n_y^T B^{-1} \bar{n}_x \bar{n}_z^T B^{-1} \bar{n}_z - (\bar{n}_z^T B^{-1} \bar{n}_z)^2]^{-1}$$

$$P_{xz} = B^{-1} + [B^{-1} \bar{n}_y \bar{n}_y^T B^{-1} - B^{-1} \bar{n}_y \bar{n}_z^T B^{-1} - B^{-1} \bar{n}_z \bar{n}_y^T B^{-1} + B^{-1} \bar{n}_z \bar{n}_z^T B^{-1}] \cdot [n_x^T B^{-1} \bar{n}_y \bar{n}_z^T B^{-1} \bar{n}_z - (\bar{n}_z^T B^{-1} \bar{n}_z)^2]^{-1}$$

$$P_{xy} = B^{-1} + [B^{-1} \bar{n}_x \bar{n}_x^T B^{-1} - B^{-1} \bar{n}_x \bar{n}_y^T B^{-1} - B^{-1} \bar{n}_y \bar{n}_x^T B^{-1} + B^{-1} \bar{n}_y \bar{n}_y^T B^{-1}] \cdot [n_z^T B^{-1} \bar{n}_x \bar{n}_y^T B^{-1} \bar{n}_y - (\bar{n}_y^T B^{-1} \bar{n}_y)^2]^{-1}$$

$q_v, q_u, q_w$  - векторы весовых коэффициентов. Так как мы получили максимально правдоподобные оценки, то они имеют нулевые смещения и минимальные значения условных дисперсий.

Условные дисперсии оценок получаем из формул для V, U, W по правилам теории вероятностей

$$D(V^*) = M \left[ \frac{\bar{n}_x^T P_{yz} \bar{\varphi} \bar{\varphi}^T P_{yz} \bar{n}_x}{(\bar{n}_x^T P_{yz} \bar{n}_x)^2} \right]$$

$$D(U^*) = M \left[ \frac{\bar{n}_y^T P_{xz} \bar{\varphi} \bar{\varphi}^T P_{xz} \bar{n}_y}{(\bar{n}_y^T P_{xz} \bar{n}_y)^2} \right]$$

$$D(W^*) = M \left[ \frac{\bar{n}_z^T P_{xy} \bar{\varphi} \bar{\varphi}^T P_{xy} \bar{n}_z}{(\bar{n}_z^T P_{xy} \bar{n}_z)^2} \right]$$

где M - оператор усреднения.

Если учесть, что

$$M[\bar{\varphi} \bar{\varphi}^T] = B$$

где B - ковариационная матрица фазовых ошибок, то получим:

$$50 \quad D(V^*) = (\bar{n}_x^T P_{yz} B P_{yz} \bar{n}_x) \cdot (\bar{n}_x^T P_{yz} \bar{n}_x)^{-2}$$

$$D(U^*) = (\bar{n}_y^T P_{xz} B P_{xz} \bar{n}_y) \cdot (\bar{n}_y^T P_{xz} \bar{n}_y)^{-2}$$

55

$$D(W^*) = (\bar{n}_z^T P_{xy} B P_{xy} \bar{n}_z) \cdot (\bar{n}_z^T P_{xy} \bar{n}_z)^{-2}$$

(8)

В случае, если  $B = B_{\varphi} \cdot G_{\varphi}^2$

$$\begin{aligned} P_{yz} \cdot V\varphi \cdot P_{yz} &= P_{yz} \\ P_{xz} \cdot V\varphi \cdot P_{yz} &= P_{xz} \\ P_{xy} \cdot V\varphi \cdot P_{xy} &= P_{xy}, \end{aligned}$$

то

$$W(\bar{\varphi}/V, U, W) =$$

$$k \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} (\bar{\varphi} - \bar{n}_x V - \bar{n}_y U - \bar{n}_z W)^T B^{-1} (\bar{\varphi} - \bar{n}_x V - \bar{n}_y U - \bar{n}_z W) \right]$$

(9)

Для получения оценок необходимо иметь полный вектор фазовых измерений  $\bar{\varphi}$ , который представляет собой

$$\bar{\varphi} = \bar{\varphi}^* + \bar{K},$$

где  $\bar{\varphi}^*$  — вектор фазовых измерений;

$\bar{K}$  — вектор полных разностей фаз, утраченных при измерении (вектор неоднозначности).

Таким образом, устранение неоднозначности фазовых измерений заключается в отыскании оценки вектора  $\bar{K}$ .

Оценки углового положения в двух ортогональных плоскостях  $\alpha$  и  $\beta$ , определяются из следующих соотношений:

$$\alpha^* = \arctg \frac{U^*}{V^*} \quad (11)$$

$$\beta^* = \arctg \frac{W^*}{\sqrt{(U^*)^2 + (V^*)^2}} \quad (12)$$

Применительно к предлагаемому устройству рассмотрим систему векторов:

$$\bar{n}_x^T = (n_{x_1}, \dots, n_{x_n})$$

$$\bar{n}_y^T = (n_{y_1}, \dots, n_{y_n})$$

$\bar{n}_z^T = (a, \dots, a)$ , что соответствует выносу опорной антенны. В этом случае вынос опорного элемента на величину  $a$  не изменит СКО оценок  $V^*$  и  $U^*$ , но даст возможность получить оценку  $W^*$ , причем ее дисперсия имеет вид:

$$D[W^*] = \frac{G_\varphi^2}{a^2 n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{xyij}}$$

Очевидно, чем больше  $a$ , тем меньше  $D[W^*]$ .

Таким образом, вынос антенны за плоскость решетки дает возможность, используя дополнительную информацию, содержащуюся в разности фаз, получить оценку третьего направляющего косинуса и более точно оценить угол места.

Изложенные принципы реализованы в предлагаемом фазовом пеленгаторе, что позволяет повысить точность измерения угловых координат в вертикальной плоскости.

5 На фиг. 1 изображена геометрическая интерпретация фазового пеленгатора; на фиг. 2 — пояснение к алгоритму работы фазового пеленгатора с объемной антенной решеткой; на фиг. 3 — структурная схема фазового пеленгатора; на фиг. 4 — функциональная схема устройства устранения неоднозначности; на фиг. 5 — функциональная схема весового сумматора.

15 Фазовый пеленгатор состоит из  $N$  антенных элементов 1 и  $N$  приемно-усилительных трактов 2, подключенных к ним  $(N-1)$  фазометров 3 так, что одна из антенн является опорной, выходы фазометров подключены к  $(N-1)$  входу блока устранения неоднозначности 4,  $(N-1)$  выходы которого соединены параллельно с  $(N-1)$  входами трех весовых сумматоров 5, выходы двух из которых подключены к двум входам первого блока вычисления  $\delta$ , а выходы этих же весовых сумматоров 5 соединены с тремя входами второго блока вычисления  $\delta$ .

Фазовый пеленгатор работает следующим образом.

30 На антенную решетку падает плоский волновой фронт и так как антенные элементы 1 разнесены в пространстве, сигналы, поступающие на вход приемно-усилительных трактов, имеют разные фазы.

Вследствие того, что антенный элемент вынесен над плоскостью антенной решетки, то собственные фазы антенн имеют помимо составляющих вдоль осей  $O_x$  и  $O_y$  еще составляющую вдоль оси  $O_z$ . В приемно-усилительных трактах 2 эти сигналы усиливаются и подаются на входы фазометров 3, которые измеряют разность фаз между сигналами, но при этом так как область измерений фазометров лежит в пределах  $[-\pi, \pi]$ , теряется целое число периодов при измерении информации. Информация о разности фаз поступает на вход устройства устранения неоднозначности 4, где восстанавливается целое число периодов разностей фаз, утраченных при измерении, и формируется совокупность полных разностей фаз. Эта совокупность из  $(N-1)$  разностей фаз поступает на входы трех весовых сумматоров 5, где путем весового суммирования получают оценки направляющих косинусов, которые поступают на входы двух блоков вычисления  $\delta$ , на выходах которых получают оценки угловых координат  $\alpha^*$  и  $\beta^*$ . Использование информации, содержащейся в составляющей разности фаз

вдоль оси  $O_z$ , позволяет получить оценку третьего направляющего косинуса  $W^*$  и оценить более точно угол места. Фазовый пеленгатор может быть реализован как в аналоговом, так и в цифровом виде. Остановимся на цифровой реализации фазового пеленгатора.

Фазометры, используемые в таком пеленгаторе, являются цифровыми. На фиг. 4 изображено устройство устранения неоднозначности. Оно содержит  $m \cdot (N-1)$  весовых сумматоров 7, которые образуют  $m$ -каналов, и входы  $(N-1)$  весовых сумматоров каждого из каналов соединены с выходами фазометров, выходы весовых сумматоров 7 соединены с одним из входов  $m \cdot (N-1)$  сумматора 9, вторые входы каждого сумматора 9 подключены к одному из  $(N-1)$  выходов запоминающего устройства 8 каждого канала, выходы сумматоров 9 каждого канала подключены к входам сумматоров 10, выходы которых соединены с  $m$  входами устройства выбора вектора неоднозначности 11,  $(N-1)$  выходы которого подключены к первым  $(N-1)$  входам сумматора 12, вторые  $(N-1)$  входы которого соединены с выходами фазометров.

Устройство работает следующим образом. Коды, содержащие информацию о разности фаз  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{N-1}$ , от фазометров поступают на вход весового сумматора, где умножаются на соответствующие коэффициенты и формируют следующую сумму на сумматоре 9:

$$2 \sum_{j=1}^{N-1} \varphi_j B_j = 2(\vec{\varphi}^T \vec{B})^j$$

где  $\vec{B} = G\vec{K}_j$

Затем с выхода весового сумматора 9 поступают на вход сумматора 10, где к ним добавляется кодовое расстояние каждого вектора неоднозначности, которое считывается с запоминающего устройства 8

$$d^j = \vec{K}_j^T \cdot G\vec{K}_j$$

Полученные коды образуют форму, соответствующую выражению (10). Таким образом, все  $m$  значений формы поступают на устройство выбора неоднозначности или схемы сравнения, где необходимый вектор неоднозначности выбирается из общей совокупности из векторов по минимуму формы  $P\vec{\varphi}(K)$ . Устройство выбора вектора неоднозначности может быть реализовано различными способами, один из них на запоминающих элементах. Так как мы знаем

все возможные коды разностей фаз, то можем получить всевозможные коды формы  $P\vec{\varphi}(K)$  и поставить в соответствие каждому вектору те возможности значения  $P\vec{\varphi}(K)$ , которые являются минимальными для данного вектора. Таким образом, в запоминающее устройство записываются коды векторов, а коды значений формы являются адресами кодов векторов. Другой заключается в том, что процесс поиска минимального значения формы сводится к показанному сравнению значений формы с помощью схем сравнения, образующих пирамидальную структуру. В устройстве 12-сумматоре формируется вектор полных разностей фаз добавлением целой части разности и ее дробной части.

На фиг. 5 изображен  $(N-1)$  входовой весовой сумматор 5, который включает  $(N-1)$  умножителей 13, запоминающее устройство 14,  $(N-1)$ -входовой сумматор 15. При работе весового сумматора на входе умножителей поступают коды чисел  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_{N-1}$  полных разностей фаз с устройства устранения неоднозначности, которые необходимо просуммировать с весовым коэффициентом  $q_1, q_2, \dots, q_{N-1}$ . Коды весовых коэффициентов поступают на входы умножителей 13 с запоминающего устройства 14. С выхода умножителей результаты поступают на вход сумматора 15, вход которого является выходом весового сумматора. Весовые сумматоры устройства устранения неоднозначности могут быть реализованы по этому же принципу. Предлагаемое устройство легко реализуется на элементах цифровой логики. Сумматоры 9, 10, 12, 15 могут быть реализованы на микросхемах У155 ИМЗ. Умножители 13 выполняются на микросхемах КР 1802 ВР2. Запоминающее устройство 8, 14 реализуется на микросхемах К555 РЕ4. В устройстве выбора вектора неоднозначности 11 могут быть использованы запоминающие устройства на микросхемах К555 РЕ4 или схемы сравнения на микросхемах К555 СП1 и регистры на микросхемах К555 ИР9, а вычислители легко реализуются на ПЗУ типа КР555 РТ5.

Рассмотрим пример конкретной реализации на основе фазового пеленгатора 4. Оценка угла места в этом случае определяется уравнением (1) при условии, что базы интерферометра равны  $l$  и  $l/\lambda = 3$ .

Методом математического моделирования была получена зависимость  $\sigma_B - f(B)$ .

Для предлагаемого устройства аналогичная зависимость была получена при условии, что ошибки возникают в приемно-усилительных каналах и корреляционная матрица в этом случае имеет вид

$$B_{\varphi} = \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 1 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 1 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 \end{bmatrix}$$

Векторы масштабных коэффициентов в единицах имеют вид

Формула изобретения

**ФАЗОВЫЙ ПЕЛЕНГАТОР**, содержащий антенную решетку, состоящую из N антенных элементов, каждый из которых соединен с соответствующим из N приемно-усилительных блоков, N - 1 фазометров, выход каждого из которых соединен с соответствующим входом блока устранения неоднозначности, отличающийся тем, что один из антенных элементов вертикально поднят над плоскостью антенной решетки, введены три весовых сумматора, блок вычисления азимута и блок вычисления угла места, при этом выход приемно-усилительного блока одного из антенных элементов, являющегося опорным, соединен с пер-

5

Пблученная зависимость представлена на фиг. 6.

Нетрудно заметить, что СКО оценки угла места в предлагаемом устройстве всегда меньше при любом положении источника излучения в вертикальной плоскости.

10

15

20

25

30

выми входами N - 1 фазометров, выходы остальных N - 1 приемно-усилительных блоков антенных элементов соединены с вторыми входами соответствующих N - 1 фазометров, N - 1 входов каждого из весовых сумматоров соединены с N - 1 выходами блока устранения неоднозначности, выход первого весового сумматора соединен с первым входом блока вычисления азимута и первым входом блока вычисления угла места, выход второго весового сумматора - с вторым входом блока вычисления азимута и вторым входом блока вычисления угла места, выход третьего сумматора - с третьим входом блока вычисления угла места.

