



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014153523/28, 29.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.12.2014

(45) Опубликовано: 27.03.2016 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU2080711 C1, 27.05.1997. RU2392707
C1, 20.06.2010. RU2352033 C1, 10.04.2009.
SU1181020 A1, 23.09.1985. DE2624398 B,
11.08.1977.

Адрес для переписки:

105064, Москва, ул. Казакова, 16, ФГУП Ордена
Трудового Красного Знамени НИИР,
патентоведу

(72) Автор(ы):

Ласкин Борис Николаевич (RU),
Сомов Анатолий Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное
предприятие Ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский институт
радио (ФГУП НИИР) (RU)**(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРНЫХ ЗОН ОБЛУЧАЮЩЕЙ РЕШЕТКОЙ
МНОГОЛУЧЕВОЙ ГИБРИДНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ**

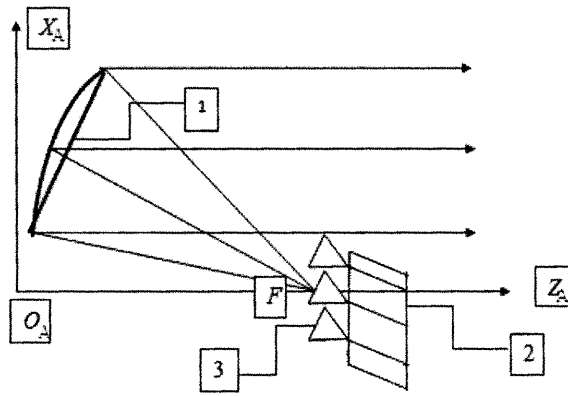
(57) Реферат:

Использование: радиотехника, области антенной техники в диапазоне СВЧ-КВЧ, и предназначено для использования в системах радиосвязи, радиопеленга, радионаблюдения и радиомониторинга. Технический результат: выравнивание (по интенсивности) плотности потока мощности при покрытии заданной области ГУС на земной поверхности меньшим числом облучателей. Сущность изобретения: в способе отображают географические координаты (широты и долготы) точек, равномерно распределенных по области зоны гарантированного уровня сигнала (ГУС), в линейной системе геоцентрических координат, последовательно переводят линейные координаты области ГУС в систему линейных координат бортовой антенны, далее в азимут-угломестную систему координат антенны и отображении электромагнитных волн, распространяющихся от каждой из точек области ГУС на поверхности

Земли в виде геометрооптических лучей (ГО-лучей) равной амплитуды, определяют парциальные диаграммы направленности (ДН) бортовой антенны в азимут-угломестной системе координат бортовой антенны, при этом плоскость раскрыва кластера облучателей, формирующего парциальные диаграммы излучения антенны, устанавливается ортогонально фокальной оси параболоида, формирующего зеркало антенны, а результирующий кластер формируют путем попадания ГО-лучей в пределы главного лепестка каждой из парциальных ДН антенны, а местоположение центрального облучателя формируемой области кластерной группы располагают в области, близкой к фокальной оси параболоида, а периферийные облучатели устанавливают так, что их ДН перекрывают оставшуюся часть проекций ГО-точек в азимут-угломестной системе координат антенны до полного формирования области ГУС. 10 ил.

R U
2 5 7 8 2 8 9
C 1

C 1
6 8 2 8 9
7 5 9
R U



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014153523/28, 29.12.2014**

(24) Effective date for property rights:
29.12.2014

Priority:

(22) Date of filing: **29.12.2014**

(45) Date of publication: **27.03.2016** Bull. № 9

Mail address:

105064, Moskva, ul. Kazakova, 16, FGUP Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni NIIR, patentovedu

(72) Inventor(s):

**Laskin Boris Nikolaevich (RU),
Somov Anatolij Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatje Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni nauchno-issledovatelskij institut radio (FGUP NIIR) (RU)

(54) **METHOD OF FORMING CLUSTER ZONES OF IRRADIATING GRID OF MULTI-BEAM HYBRID MIRROR ANTENNA**

(57) Abstract:

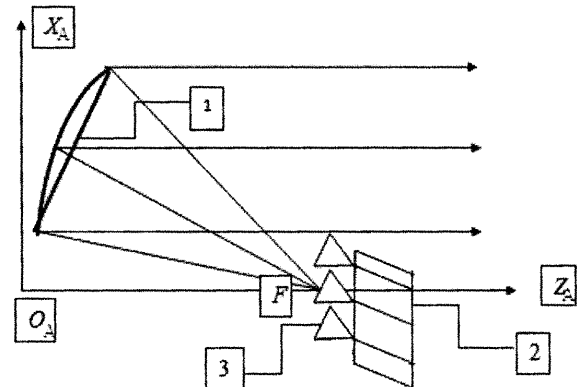
FIELD: radio engineering and communications.

SUBSTANCE: invention can be used in radio engineering, antenna engineering in SHF-EHF range, and is intended for use in radio communication systems, radio bearing, radio tracking and radio monitoring. Method of displaying the geographic coordinates (latitude and longitude) points, uniformly distributed in the zone of guaranteed signal level (GSL), in a linear system of geocentric coordinates, serial transfer of linear coordinates of GSL field in system of linear coordinates of onboard antenna, then in antenna azimuth-elevation coordinate system and display of electromagnetic waves, propagating from each of the points in GSL field on the Earth surface in the form of geometrical-optic beams (GO-beams) with equal amplitude, determining antenna radiation partial patterns (RP) in azimuth-elevation coordinate system of onboard antenna, whereupon aperture plane of irradiators cluster, forming antenna radiation partial patterns is installed perpendicular to the focal axis of paraboloid which forms antenna mirror, and the resultant cluster is formed by penetration of GO-beams in the main lobe range of each antenna partial RP, and the location of central irradiator in the formed area of cluster group is placed

in area close to focal axis of paraboloid, while peripheral irradiators are installed in a way so that their RP overlap remaining part of GO-points projection in antenna azimuth-elevation coordinate system until full formation of GSL field.

EFFECT: alignment (by intensity) of power flow density upon covering given area of GSL on the ground surface with smaller number of radiators.

1 cl, 10 dwg



Фиг. 1

RU 2 578 289 C1

RU 2 578 289 C1

Изобретение относится к радиотехнике, к области антенной техники в диапазоне СВЧ-КВЧ, и предназначено для использования в системах радиосвязи, радиопеленга, радионаблюдения и радиомониторинга.

В спутниковых системах связи с сотовым обслуживанием территории и в спутниковой связи с использованием стационарных и перемещаемых средств на борту искусственных спутников земли (ИСЗ) существует проблема формирования кластеров многолучевых антенн, связанная с необходимостью конфигурации на земной поверхности зон гарантированного уровня сигнала (ГУС), а также с выравниванием этого уровня в формируемых зонах.

Известны способы формирования кластерных зон облучающей решеткой многолучевой зеркальной антенны, формирующей несколько отклоненных диаграмм направленности - "парциальных лучей" или сканирующие лучом диаграммы направленности земную территорию в заданном угловом секторе (А. С. СССР №148630 НО1Q 15/20, №1181020 НО1Q 19/18, пат. ФРГ №2624398 НО1Q 3/26, пат. США №4044361 НО1Q 3/00, №4516130 НО1Q 19/19, №3914768 НО1Q 3/24).

Недостатком указанных аналогов является существенное различие в интенсивности плотности потока мощности в требуемых зонах покрытия на земной поверхности при формировании кластеров (наборов) облучателей облучающей решетки (ОР) многолучевой гибридной зеркальной антенны (МЛГЗА) [1].

Задачей изобретения является создание способа формирования кластерных зон облучающей решеткой многолучевой гибридной зеркальной антенны, обеспечивающего выравнивание по интенсивности плотности потока мощности при покрытии заданной области ГУС на земной поверхности.

Способ формирования кластерных зон облучающей решеткой многолучевой гибридной зеркальной антенны:

1. Определить парциальные диаграммы направленности (ДН), формируемые кластером облучателей, плоскость раскрыва которого ортогональна фокальной оси рефлектора МЛГЗА, и представить результат в азимут-угломестной системе координат бортовой антенны.

2. Преобразовать географические координаты (долгота $\mu_i^Г$ и геоцентрическая широта $\theta_i^Г$) точек, равномерно распределенных по области зоны гарантированного уровня сигнала (ГУС), в линейные координаты $XГ_i$, $YГ_i$, $ZГ_i$ геоцентрической системы координат $OХГ YГ ZГ$ [1], (фиг. 4).

3. Преобразовать линейные координаты $XГ_i$, $YГ_i$, $ZГ_i$ точек, характеризующих область ГУС, в систему линейных координат космического аппарата [1] $DХ_{КА} Y_{КА} Z_{КА}$ (фиг. 5).

4. Сформировать параметры наведения бортовой антенны МЛГЗА.

5. Преобразовать координаты точек, характеризующие область ГУС в линейной системе координат космического аппарата, в линейную систему координат бортовой антенны $O_A X_A Y_A Z_A$ (фиг. 5), далее в азимут-угломестную систему координат антенны (угол подъема $\psi_i^Л$ и угол бокового отклонения $\psi_i^П$).

6. Отобразить электромагнитные волны, распространяющиеся от каждой из точек области ГУС на поверхности Земли в виде набора геометрических лучей (ГО-лучей) [2] со значением амплитуды от нуля до единицы при необходимости учета потерь трассы связи или единичной амплитуды в противном случае.

7. Для каждой ДН сформировать набор значений уровня поля излучения в направлении каждого из ГО-лучей. Определить сумму элементов указанных наборов, которые превышают заданный порог ГУС. Сформировать вектор весовых коэффициентов эффективности использования отдельных облучателей и всей ОР в зависимости от углов установки антенны по приведенному итеративному алгоритму, приведенному выше, попадания ГО-лучей в пределы зоны излучения антенной системы.

8. Повторить пп. 4-7 для ближайших наборов значений углов установки антенны. Сравнить значения коэффициентов использования всей ОР, найти локальный максимум в зависимости от набора значений углов установки антенны.

9. Облучатели ОР, весовой коэффициент использования которых не превышает заданного числового порога эффективности использования, не используются при формировании поля излучения для передающих антенн и суммы входного сигнала для приемных антенн. Величина порога эффективности использования определяется на стадии проектирования спутниковой системы связи на основе экономических показателей системы. Пояснение к п. 1 способа:

Плоскость раскрыва ОР ортогональна фокальной плоскости параболоида (фиг. 1), а оси облучателей наклонены к фокальной оси, поэтому отсутствуют смещения вдоль фокальной оси относительно фокуса параболоида облучателей, примыкающих к центральному облучателю, что исключает квадратичные фазовые распределения поля в раскрыве для этих облучателей. Парциальные ДН, формируемые этими облучателями, не испытывают характерных для квадратичных фазовых искажений расширения главного лепестка парциальной ДН и ослабления уровня поля в направлении максимума излучения (фиг. 2,б). При этом происходит выравнивание плотности потока мощности в парциальных зонах обслуживания, формируемых этими диаграммами (фиг. 3,б) и (10,б).

Совокупность этих существенных признаков формирует отличный от известных ранее способ формирования кластерных зон облучающей решеткой многолучевой гибридной зеркальной антенны с измененной конфигурацией структуры ОР для организации требуемых зон покрытия на земной поверхности.

Заявленный способ поясняется чертежами, на которых показаны:

на фиг. 1 - МЛГЗА с рефлектором 1, ортогональной фокальной оси $O_A Z_A$ ОР-2, состоящей из рупорных облучателей 3;

на фиг. 2,а - парциальные ДН антенны с наклонной ОР по отношению к фокальной оси зеркала антенны;

на фиг. 2,б - парциальные ДН антенны с ортогональной ОР по отношению к фокальной оси зеркала антенны;

на фиг. 3 - локальные зоны ГУС, формируемые парциальными ДН антенны с наклонной (а) и ортогональной (б) по отношению к фокальной оси ОР;

на фиг. 4 - схема определения угловых и линейных координат точки наблюдения;

на фиг. 5 - геометрическое представление перехода от относительной геоцентрической системы координат к орбитальной подвижной системе координат;

на фиг. 6 - пример конфигурации облучающей решетки;

на фиг. 7 - пример заданной области гарантированного уровня сигнала на земной поверхности;

на фиг. 8 - локальные зоны обслуживания, формирующие зону ГУС;

на фиг. 9 - сформированный кластер облучателей;

на фиг. 10 - пример освещения видимой поверхности Земли антенной с наклонной (а) и ортогональной (б) по отношению к фокальной оси ОР.

Конфигурация зон обслуживания определялась с использованием программы для ЭВМ Satellite Academic Research (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Ru №2013660428).

Исходные данные для решения поставленной задачи разделяются на три типа:

5 - параметры, характеризующие ориентацию спутника ретранслятора, включающие в себя широту и долготу $(\theta_{\text{ПТ}}^{\Gamma}, \mu_{\text{ПТ}}^{\Gamma})$ подспутниковой точки, углы установки бортовой антенны и высоту ИСЗ над поверхностью земли;

10 - географические координаты границы области ГУС $(\theta_i^{\Gamma}, \mu_i^{\Gamma})$, где $i=1 \dots n$, n - число элементов выборки точек, характеризующих область ГУС.

15 - параметры антенной системы ретранслятора на ИСЗ, включающие в себя: форма профиля рефлектора (параболическая, эллиптическая, сферическая), фокусное расстояние (F), клиренс антенны (C), размеры раскрыва рефлектора зеркальной системы антенны и облучающих элементов ОР, расположение и ориентация облучателей на ОР, частотно-поляризационное разделение стволов передачи данных.

В качестве модели формы земной поверхности принимается аппроксимация в виде эллипсоида вращения (большая полуось $a=R_e=6378.245$ км и эксцентриситет $e_3=0.081813$), называемого референц-эллипсоидом. Положение наблюдателя (ЗСС) на поверхности 20 Земли задается тремя параметрами - географической долготой μ_i^{Γ} , географической широтой θ_i^{Γ} и высотой над уровнем референц-эллипсоида h_i^{Γ} , которую для упрощения модели можно принять равной $h_i^{\Gamma} \equiv 0$, геометрическое представление земной сферы 25 с указанием угловых и линейных координат представлено на фиг. 4.

Линейные координаты точки наблюдателя С:

$$\left. \begin{aligned}
 30 \quad X_{\Gamma_i} &= \left(\frac{R_e}{\sqrt{1-e_3^2 \sin^2 \theta_i^{\Gamma}}} \right) \cos \theta_i^{\Gamma} \cos \mu_i^{\Gamma} \\
 35 \quad Y_{\Gamma_i} &= \left(\frac{R_e}{\sqrt{1-e_3^2 \sin^2 \theta_i^{\Gamma}}} \right) \cos \theta_i^{\Gamma} \sin \mu_i^{\Gamma} \\
 40 \quad Z_{\Gamma_i} &= \left(\frac{R_e}{\sqrt{1-e_3^2 \sin^2 \theta_i^{\Gamma}}} \right) \sin \theta_i^{\Gamma}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для определения параметров линейных координат преобразовываем исходный массив точек области ГУС из угловых координат (географическая широта и долгота) в линейные координаты $X_{\Gamma_i}, Y_{\Gamma_i}, Z_{\Gamma_i}$, относительной геоцентрической системы координат $(O_{\Gamma} X_{\Gamma} Y_{\Gamma} Z_{\Gamma})$, где $X_{\Gamma_i}, Y_{\Gamma_i}, Z_{\Gamma_i}$ - координаты точек области ГУС в 45 относительной геоцентрической системе координат, $\theta_i^{\Gamma}, \mu_i^{\Gamma}$, географические координаты точек области ГУС. Далее преобразовываем в линейные координаты местоположение искусственного спутника Земли (ИСЗ) и точки прицеливания антенны. В качестве

первого приближения точки прицеливания принимается центр совокупности точек, характеризующих область ГУС $\theta_{\text{ПР}}^{\Gamma}, \mu_{\text{ПР}}^{\Gamma}$. Для преобразования точки прицеливания в линейные координаты $X_{\text{ПР}}^{\Gamma}, Y_{\text{ПР}}^{\Gamma}, Z_{\text{ПР}}^{\Gamma}$ используются выражения (1).

Так как плоскость геостационарной орбиты находится в плоскости экватора, то $\mu_0^{\Gamma} = \mu_{\text{ПТ}}^{\Gamma}; \theta_0^{\Gamma} = 0$, где $\mu_{\text{ПТ}}^{\Gamma}$ - номинальное значение долготы спутника, $\theta_0^{\Gamma}, \mu_0^{\Gamma}$ - географические координаты подспутниковой точки [1], (фиг. 5).

Для определения угловых координат ИСЗ в линейной системе координат $OX_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma}$ вместо радиуса Земли в выражении (1) указывается расстояние от центра Земли до ИСЗ (для ИСЗ, расположенных на геостационарной орбите радиус орбиты, равен $R_{\text{КА}}=42164$ км). Исходя из вышесказанного:

$$\begin{bmatrix} X_{\text{КА}}^{\Gamma} \\ Y_{\text{КА}}^{\Gamma} \\ Z_{\text{КА}}^{\Gamma} \end{bmatrix} = R_{\text{КА}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \mu_{\text{ПТ}}^{\Gamma} \\ \sin \mu_{\text{ПТ}}^{\Gamma} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $X_{\text{КА}}^{\Gamma}, Y_{\text{КА}}^{\Gamma}, Z_{\text{КА}}^{\Gamma}$ - линейные координаты ИСЗ в системе $OX_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma}$.

Для определения параметров наведения антенны ИСЗ используется орбитальная подвижная система координат $DX_{\text{КА}}Y_{\text{КА}}Z_{\text{КА}}$ [1], (фиг. 5). Начало данной системы совмещено с центром масс спутника-ретранслятора Д, основная плоскость - плоскость орбиты, ось $DX_{\text{КА}}$ является продолжением радиус-вектора из центра земной сферы в точку Д. Ось $DY_{\text{КА}}$ расположена в плоскости орбиты перпендикулярно $DX_{\text{КА}}$. Ось $DZ_{\text{КА}}$ дополняет систему до правой системы координат.

Для перехода координат точек наблюдения, точки прицеливания и местоположения ИСЗ относительной геоцентрической системы координат к координатам в орбитальной подвижной системе координат используют общие соотношения аналитической геометрии в векторной форме:

$$\begin{bmatrix} x_i^1 \\ y_i^1 \\ z_i^1 \end{bmatrix} = [a_{jk}] \left[\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{\text{ц}} \\ y_{\text{ц}} \\ z_{\text{ц}} \end{bmatrix} \right], \quad (3)$$

Где $x_i, y_i, z_i, x_i^1, y_i^1, z_i^1$ - координаты точки в первой $OXYZ$ и во второй $O^1X^1Y^1Z^1$ системах координат соответственно; $x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}, z_{\text{ц}}$ - координаты начала O второй системы координат в системе координат первой $OXYZ$; $[a_{jk}]$ - матрица направляющих косинусов, определяющих углы между осями рассматриваемых координатных систем.

Матрица направляющих косинусов $[a_{jk}]$ определяется тремя независимыми параметрами, не являющимися элементами этой матрицы, но функционально с ними связанными:

$$[a_{jk}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \Psi_X \cdot \Psi_Y \cdot \Psi_Z, \quad (4)$$

В качестве таких параметров выбираются углы поворота системы координат OXYZ вокруг собственных осей (углы редукции) - ψ_x , ψ_y , ψ_z , которые при соблюдении заданного порядка реализации поворотов (маршрута реализации) обеспечивают совпадение осей обеих координатных систем при совпадении их начал [1].

Углы редукции используют для определения элементов матрицы (4) методом трех последовательных поворотов осей координат [3] (метод трех поворотов), основой которого являются элементарные матрицы, связывающие преобразованные и исходные координаты при раздельной реализации редукционных углов:

$$\begin{aligned} \psi_x &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi_x & \sin\psi_x \\ 0 & -\sin\psi_x & \cos\psi_x \end{bmatrix}, \\ \psi_y &= \begin{bmatrix} \cos\psi_y & 0 & -\sin\psi_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\psi_y & 0 & \cos\psi_y \end{bmatrix}, \\ \psi_z &= \begin{bmatrix} \cos\psi_z & \sin\psi_z & 0 \\ -\sin\psi_z & \cos\psi_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (5)$$

Элементы матрицы $[a_{jk}]$ находятся в результате перемножения элементарных матриц Ψ_X , Ψ_Y , Ψ_Z согласно маршруту реализации.

Для перехода из относительной геоцентрической системы координат $OX_\Gamma Y_\Gamma Z_\Gamma$ в орбитальную подвижную $DX_{KA} Y_{KA} Z_{KA}$ и при расположении ИСЗ на ГСО выбираем следующий маршрут реализации: $\psi_z \rightarrow \psi_y \rightarrow \psi_x$. Так как вращение осей координат осуществляется вокруг оси OZ_Γ системы $OX_\Gamma Y_\Gamma Z_\Gamma$ (угол поворота определяется долготой подспутниковой точки $\mu_{ПТ}^\Gamma$), согласно фиг. 5, углы редукции будут равны:

$$\psi_x = 0, \psi_y = 0, \psi_z = \mu_{ПТ}^\Gamma.$$

Координатами центра орбитальной системы координат в геоцентрической системе координат являются координаты ИСЗ ($X_{\Gamma KA}$, $Y_{\Gamma KA}$, $Z_{\Gamma KA}$), определенные ранее (2).

Исходя из значений координат точек области ГУС в геостационарной системе координат (1) и координат центра орбитальной системы в геоцентрической системе координат (2) с учетом выражений (3), (5) определяем координаты точек области ГУС (6) и точки прицеливания в системе координат ИСЗ (7):

$$\left. \begin{aligned} XKA_i &= \cos \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (X\Gamma_i - X\Gamma_{KA}) + \sin \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (Y\Gamma_i - Y\Gamma_{KA}) \\ YKA_i &= -\sin \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (X\Gamma_i - X\Gamma_{KA}) + \cos \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (Y\Gamma_i - Y\Gamma_{KA}) \\ ZKA_i &= Z\Gamma_i - Z\Gamma_{KA} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} XKA_{\Pi P} &= \cos \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (X\Gamma_{\Pi P} - X\Gamma_{KA}) + \sin \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (Y\Gamma_{\Pi P} - Y\Gamma_{KA}) \\ YKA_{\Pi P} &= -\sin \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (X\Gamma_{\Pi P} - X\Gamma_{KA}) + \cos \mu_{\Pi T}^{\Gamma} (Y\Gamma_{\Pi P} - Y\Gamma_{KA}) \\ ZKA_{\Pi P} &= Z\Gamma_{\Pi P} - Z\Gamma_{KA} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для углов установки антенны в системе координат КА вводим обозначения:

$$\psi_{\Pi} = \alpha \tan\left(-\frac{ZKA_{\Pi P}}{XKA_{\Pi P}}\right) - \text{угол подъема};$$

$$\psi_{\text{Б}} = \alpha \tan\left(-\frac{YKA_{\Pi P}}{XKA_{\Pi P}}\right) - \text{угол бокового отклонения};$$

$\sigma = \sigma_0$ - угол начального поворота антенны.

В качестве системы координат бортовой антенны принята прямоугольная система координат $O_A X_A Y_A Z_A$. Начало координат совмещено с вершиной параболоида вращения, описывающего поверхность зеркала антенны, ось $O_A Z_A$ совпадает с фокальной осью, ось $O_A X_A$ лежит в плоскости симметрии зеркала и направлена от оси $O_A Z_A$ к верхней кромке зеркала, ось $O_A Y_A$ дополняет систему до правой системы координат.

Представленные выше углы являются углами редукции перевода из системы координат ИСЗ $D X_{KA} Y_{KA} Z_{KA}$ в систему координат антенны $O_A X_A Y_A Z_A$, при этом: $\psi_x = \sigma$, $\psi_y = \psi_{\Pi}$, $\psi_z = \psi_{\text{Б}}$, а угол начального поворота антенны задается отдельно в исходных данных, примем его $\sigma = 0$. Процедура перехода определяется выражением (8).

$$\begin{bmatrix} XA_i \\ YA_i \\ ZA_i \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} XKA_i \\ YKA_i \\ ZKA_i \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где A - матрица направляющих косинусов преобразования координат из системы $D X_{KA} Y_{KA} Z_{KA}$ в $O_A X_A Y_A Z_A$.

Элементы матрицы направляющих косинусов $[A]$ определяются порядком реализации поворотов координатных осей системы. $D X_{KA} Y_{KA} Z_{KA}$ до совмещения с координатными осями системы $O_A X_A Y_A Z_A$ при переносе точки D в O_A :

$$A = \begin{bmatrix} \cos\psi_{\Pi} \cos\psi_B & -\cos\psi_{\Pi} \sin\psi_B & -\sin\psi_{\Pi} \\ \sin\psi_{\Pi} \cos\psi_B \sin\sigma + \sin\psi_B \cos\sigma & -\sin\psi_{\Pi} \sin\psi_B \sin\sigma + \cos\psi_B \cos\sigma & \cos\psi_{\Pi} \sin\sigma \\ \sin\psi_{\Pi} \cos\psi_B \cos\sigma - \sin\psi_B \sin\sigma & -\sin\psi_{\Pi} \sin\psi_B \cos\sigma - \cos\psi_B \sin\sigma & \cos\psi_{\Pi} \cos\sigma \end{bmatrix}, (9)$$

Для определения угла подъема и угла бокового отклонения вводится дополнительная система координат, представляющая собой редукцию от прямоугольной системы координат $O_A X_A Y_A Z_A$. Данная система координат характеризуется углом подъема ψ_i^L и углом бокового отклонения ψ_i^T .

$$\begin{aligned} \psi_i^L &= a \tan\left(\frac{XA_i}{ZA_i}\right); \\ \psi_i^T &= a \tan\left(\frac{YA_i}{ZA_i}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

Электромагнитные волны, распространяющиеся от каждой из точек области ГУС на поверхности Земли, представляем в виде набора геометрооптических лучей (ГО-лучей) со значением амплитуды от нуля до единицы при необходимости учета потерь трассы связи или единичной амплитуды в противном случае. При учете потерь трассы связи единичная амплитуда присваивается ГО-лучу с минимальными потерями. Амплитуда i -го ГО-луча определяется отношением потерь в направлении i -го луча к потерям в направлении ГО-луча с минимальными потерями.

Определение попадания ГО-лучей в пределы зоны излучения антенной системы представляется итеративным алгоритмом:

1. Сформировать начальный набор значений углов установки антенны.
2. Для каждого облучателя:
 - а. Определить набор значений уровня поля излучения в направлении каждого из ГО-

лучей $F_i^j = F^j(\psi_i^L, \psi_i^T)$, где $F^j(\psi_i^L, \psi_i^T)$ - амплитудная ДН поля излучения j -го излучателя в направлении i -го ГО-луча.

б. Определить сумму элементов указанных наборов, которые превышают заданный порог ГУС: $Sum^j = \sum_i (F_i^j > \text{ГУС})$.

3. Для каждого облучателя определить значение весового коэффициента

$$\omega^j = \frac{Sum^j}{\max(Sum^j)}. \text{ Определить число используемых облучателей с отличными от нуля}$$

коэффициентами ω^j и представить в виде произведения числа используемых облучателей на значение отличных от нуля коэффициентов ω^j .

4. Определить эффективность использования ОР МЛГЗА при текущих углах установки антенны. В качестве целевой функции принимаем зависимость значения произведения отличных от нуля коэффициентов из набора ω^j и числа, отличных от нуля, коэффициентов ω^j (числа использованных облучателей) от угла установки антенны.

5. Сохранить в памяти вычислительного устройства значение целевой функции и вектор весовых коэффициентов ω^j .

Повторить действия 1-5 для ближайших наборов значений углов установки антенны.

Выбрать набор углов установки антенны, максимизирующий целевую функцию в зависимости от критерия поиска локального максимума. Облучатели, весовой коэффициент которых ω^j не превышает заданного порога, считаем отключенными.

5 Реализация заявляемого способа моделировалась на ЭВМ на примере формирования кластерных зон ОР, конфигурация которой представлена на фиг. 6, МГЗА с рефлектором в виде вырезки из параболоида вращения с фокусным расстоянием $F=0,7$ м, клиренсом антенны $C=0,2$, размерами большой и малой полуосей рефлектора $a=b=0,225$ м и радиусов облучающих элементов $R_0=0,01$ м для оптимального покрытия области ГУС на земной поверхности, представленной на фиг. 7. ОР расположена в фокальной области формирующего рефлектора антенны, причем ее плоскость ортогональна фокальной оси, а облучатели наклонены в плоскости $O_A X_A Z_A$ на угол $\alpha_0=35^\circ$ относительно оси $O_A Z_A$. Параметры ориентации спутника определяются границей ГУС и равны

15 $\mu_{ПТ}^Г = -60^\circ, \mu_{ПР}^Г = -65^\circ, \theta_{ПР}^Г = -15^\circ, \sigma=0^\circ$. Результат расчета конфигурации ОР (фиг 9), формирующей область ГУС, представлен на фиг. 8.

При расположении излучателей в плоскости, ортогональной фокальной оси, максимумы парциальных ДН оказывается постоянным (фиг. 10,б) и несколько большими (фиг. 2) по сравнению с базовым вариантом расположения облучателей в ОР (фиг. 10,а).
20 За счет этого ширина парциальных ДН практически постоянная при удалении от луча, близкого к фокальной оси, пересечение границ ДН локальных зон происходит так, что сами зоны оказываются пространственно разнесенными, и это позволяет покрыть одинаковую территорию земной поверхности меньшим числом облучателей (фиг. 10).

Техническим результатом, обеспечиваемым способом формирования кластерных зон облучающей решеткой многолучевой гибридной зеркальной антенны, является
25 выравнивание по интенсивности плотности потока мощности при покрытии заданной области ГУС на земной поверхности, причем меньшим числом облучателей.

Предлагаемый способ формирования кластерных зон облучающей решетки многолучевой гибридной зеркальной антенны можно рассматривать как новый способ
30 формирования кластерных зон ОР для лучшего покрытия заданной области ГУС на земной поверхности с использованием меньших средств. Использование в качестве рефлектора вырезки из любой иной поверхности второго порядка не накладывает ограничения на предложенный способ, т.е. заявленное решение является для любых рефлекторов, формирующих многолучевую диаграмму направленности или
35 предназначенных для обеспечения сканирования путем попеременной коммутации лучей, сформированных кластером.

Источники информации

1. Машбиц Л.М. Компьютерная картография и зоны спутниковой связи. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Горячая линия - Телеком, 2009.
- 40 2. Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. - М.: Связь, 1978.
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. - М.: Наука, 1972.
4. Сомов А.М., Волгаткин К.М., Ласкин Б.Н. Бортовая антенна для спутниковых радиосистем с сотовой конфигурацией зон обслуживания. - М., Труды НИИР №1 2012.

45 Формула изобретения

Способ формирования кластерных зон облучающей решеткой многолучевой гибридной зеркальной антенны с зеркалом в виде неосесимметричной вырезки из параболоида вращения и облучающей решетки, нормаль к плоскости раскрытия которой и продольные оси облучателей наклонены относительно фокальной оси образующего

зеркало параболоида, заключающийся в отображении географических координат (широты и долготы) точек, равномерно распределенных по области зоны гарантированного уровня сигнала (ГУС) в линейную систему геоцентрических координат, последовательном переводе линейных координат области ГУС в систему
5 линейных координат бортовой антенны, далее в азимут-угломестную систему координат антенны и отображении электромагнитных волн, распространяющихся от каждой из точек области ГУС на поверхности Земли, в виде геометрооптических лучей (ГО-лучей) равной амплитуды, определение парциальных диаграмм направленности (ДН) бортовой антенны в азимут-угломестной системе координат бортовой антенны, отличающийся
10 тем, что плоскость раскрыва кластера облучателей, формирующего парциальные диаграммы излучения антенны, устанавливаются ортогонально фокальной оси параболоида, формирующего зеркало антенны, а результирующий кластер устанавливаются так, что ГО-лучи располагаются в пределах главного лепестка каждой из парциальных ДН антенны, при этом центральный облучатель формируемой области
15 кластерной группы устанавливаются в области, близкой к фокальной оси параболоида, а периферийные облучатели, окружающие центральный облучатель, устанавливаются так, что их ДН перекрывают оставшуюся часть проекций ГО-точек в азимут-угломестной системе координат антенны до полного формирования области ГУС.

20

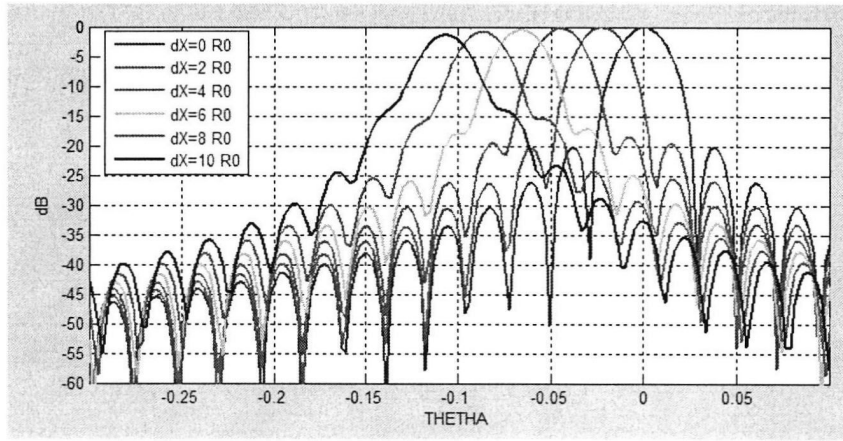
25

30

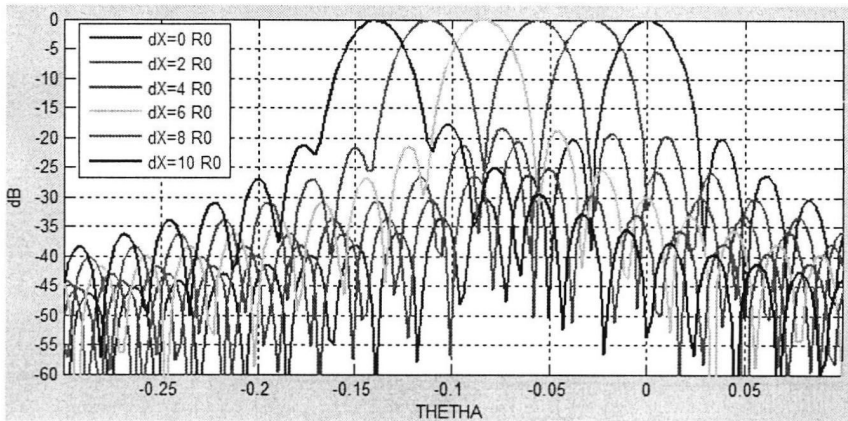
35

40

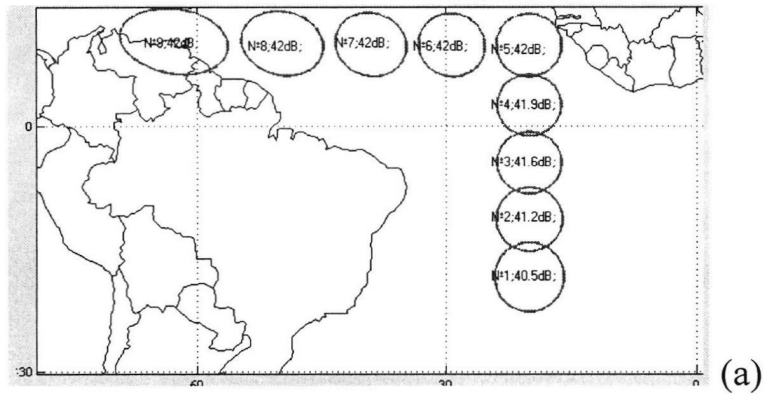
45



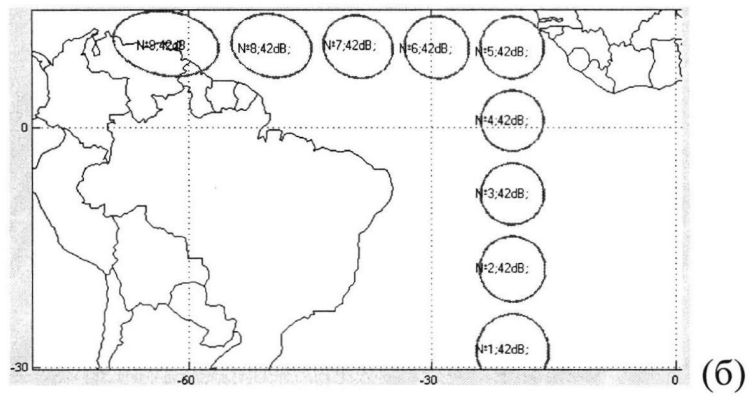
Фиг. 2а



Фиг. 2б

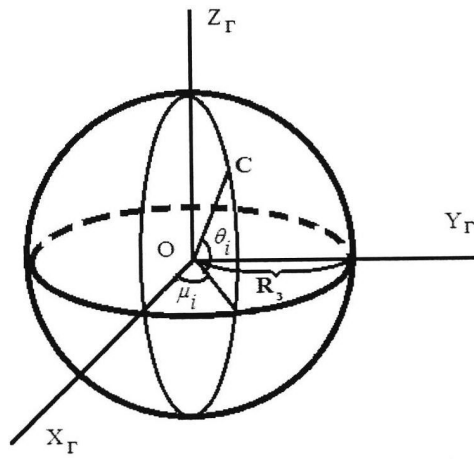


(а)

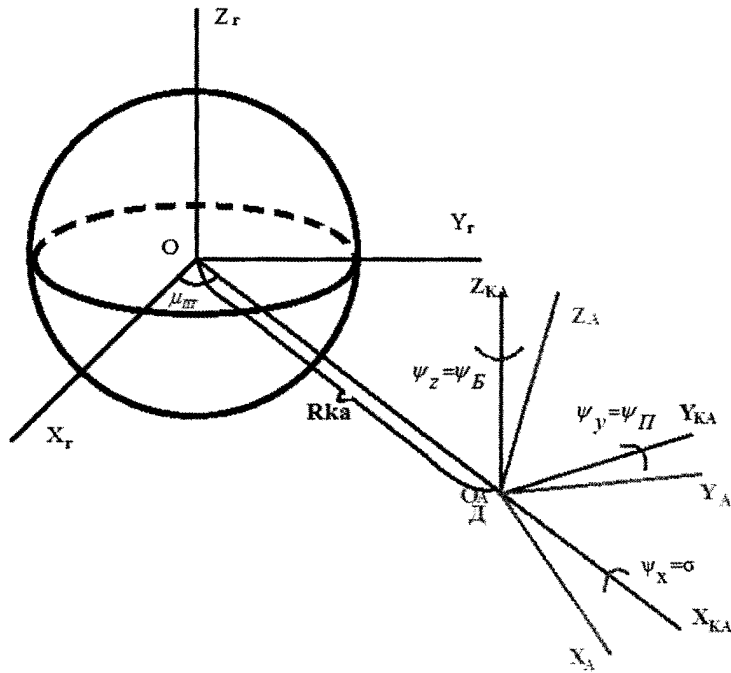


(б)

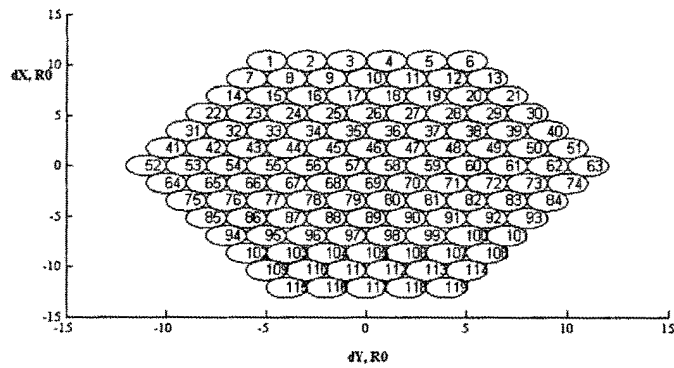
Фиг. 3



Фиг. 4



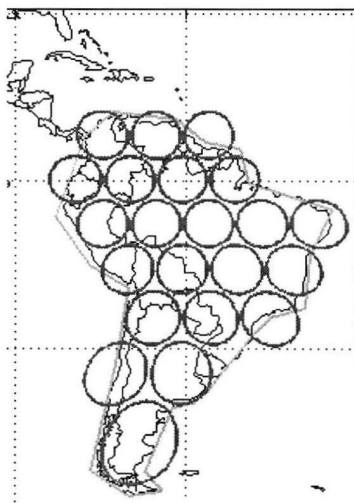
Фиг. 5



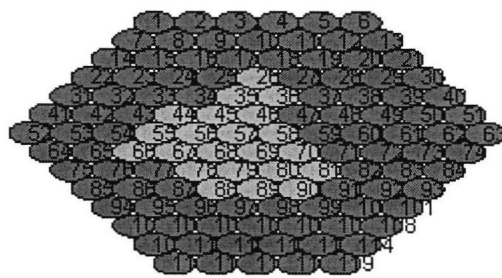
Фиг. 6



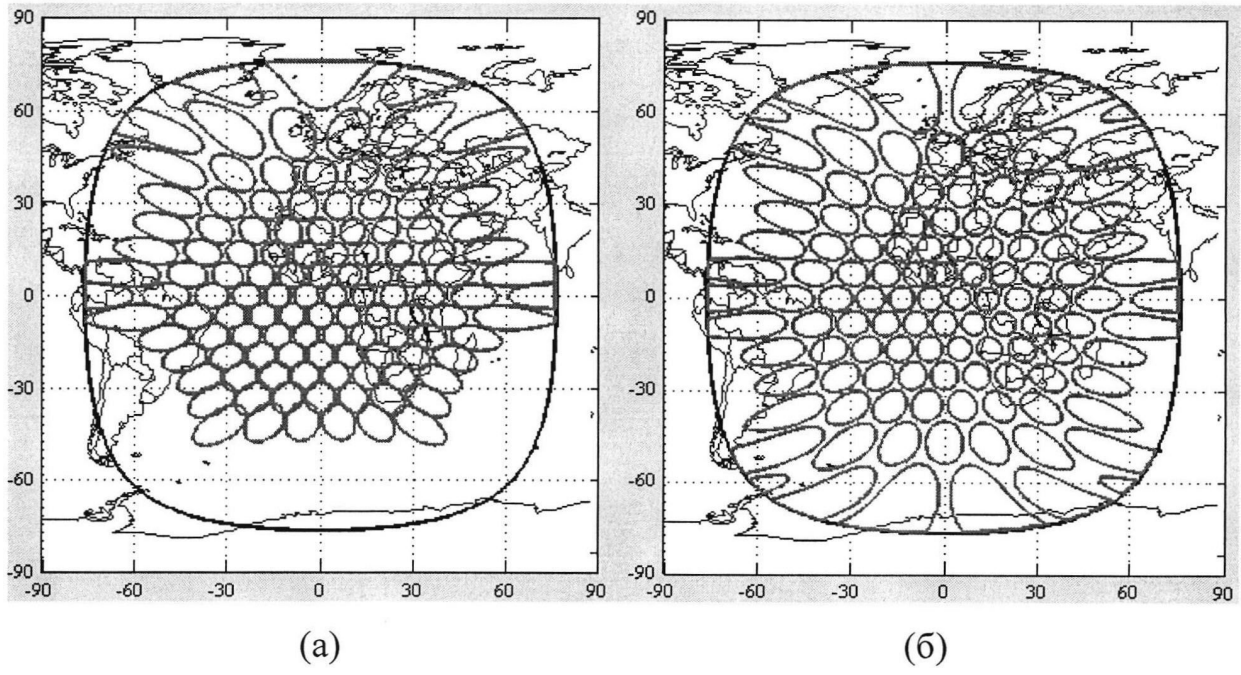
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10