



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01Q 21/22 (2020.01)

(21)(22) Заявка: 2019117041, 03.06.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.06.2019

Дата регистрации:
18.06.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.06.2019

(45) Опубликовано: 18.06.2020 Бюл. № 17

Адрес для переписки:

140185, Московская обл., г. Жуковский, ул.
Туполева, 2а, Акционерное общество
"Московский научно-исследовательский
институт "Агат", юридический отдел

(72) Автор(ы):

Пономарев Леонид Иванович (RU),
Терехин Олег Васильевич (RU),
Васин Антон Александрович (RU),
Турко Леонид Степанович (RU),
Титов Лев Николаевич (RU),
Сухов Анатолий Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Московский
научно-исследовательский институт "Агат"
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Li Y, Yang F., Ouyang J., Yang P.
Synthesis of conical conformal array antenna
using invasive weed optimization method // ACES
Journal. 2013. V. 28. N11. P. 1025-1030. RU
2435263 C1, 27.11.2011. Буренков В. В. Антенны
на конической поверхности / В. В. Буренков,
Н. Е. Михалев // Международная конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых
(см. прод.)

(54) СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ КОНИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот, а именно к антенным решеткам (АР), используемым в бортовых радиолокационных системах (РЛС) ракет класса «земля - воздух», «воздух - воздух» и других типов ракет и летательных аппаратов (ЛА), располагаемых непосредственно на проводящей конической или обобщенной конической поверхности носовой части ракеты или летательного аппарата. Реализация предлагаемого способа построения конической АР заключается в решении дифракционной задачи о падении произвольно поляризованной плоской волны на проводящую поверхность конуса вдоль его продольной оси, определении электрического

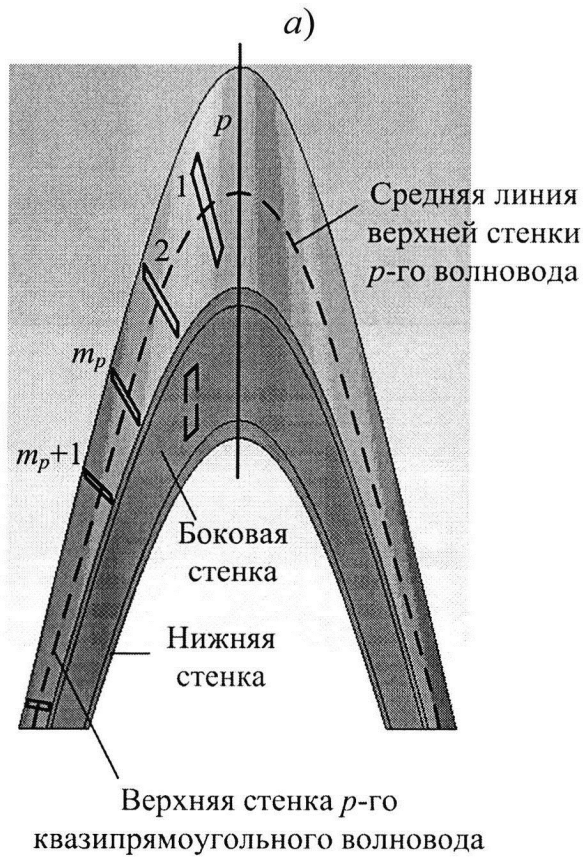
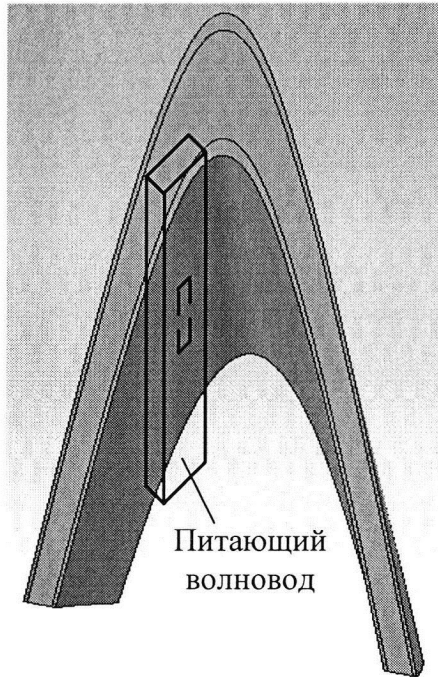
тока $\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)$ в произвольной точке P на поверхности конуса, определении амплитудно-фазового и поляризационного возбуждения излучателей $\vec{\delta}_{\text{прд}}(P)$, удовлетворяющего условию $\vec{\delta}_{\text{прд}}(P) = c\vec{\delta}_{\text{прм}}^*(P)$, где c - некоторая произвольная константа; «*» - знак комплексного сопряжения и реализации с помощью щелевых (или иного типа) излучателей рассчитанного амплитудно-фазового и поляризационного возбуждения. Технический результат заключается в формировании суммарно-разностных ДН в направлении оси конуса с максимальным КНД (КУ) по

суммарному каналу за счет установления оптимального амплитудно-фазового и поляризационного возбуждения излучателей, при котором характеристики направленности (КНД, КУ) существенно превышают аналогичные характеристики эквивалентной плоской антенны

и обеспечивается уровень кросс-поляризационного излучения существенно ниже уровня кросс-поляризации в известных аналогах конических АР и АР с оживальной формой поверхности. 3 з.п. ф-лы, 13 ил.

RU 2723909 C1

RU 2723909 C1



б)

Двухконусная соосная поверхность и квазипрямоугольные волноводы

Фиг. 5

(56) (продолжение):

"Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления" : сборник докладов. — Екатеринбург : [УрФУ], 2015. — С. 49-53. RU 2246156 C1, 10.02.2005. RU 2319261 C1, 10.03.2008.

R U 2 7 2 2 3 9 0 9 C 1

R U 2 7 2 2 3 9 0 9 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H01Q 21/22 (2020.01)

(21)(22) Application: **2019117041, 03.06.2019**

(24) Effective date for property rights:
03.06.2019

Registration date:
18.06.2020

Priority:

(22) Date of filing: **03.06.2019**

(45) Date of publication: **18.06.2020 Bull. № 17**

Mail address:

**140185, Moskovskaya obl., g. Zhukovskij, ul.
Tupoleva, 2a, Aktsionernoe obshchestvo
"Moskovskij nauchno-issledovatel'skij institut
"Agat", yuridicheskij otdel**

(72) Inventor(s):

**Ponomarev Leonid Ivanovich (RU),
Terekhin Oleg Vasilevich (RU),
Vasin Anton Aleksandrovich (RU),
Turko Leonid Stepanovich (RU),
Titov Lev Nikolaevich (RU),
Sukhov Anatolij Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoe obshchestvo "Moskovskij
nauchno-issledovatel'skij institut "Agat" (RU)**

(54) **METHOD OF CONSTRUCTING BEAD CONICAL ANTENNA ARRAYS**

(57) Abstract:

FIELD: antenna equipment.

SUBSTANCE: invention relates to superhigh-frequency equipment, specifically to antenna arrays (AA) used in onboard radar systems of ground-to-air missiles, air-to-air and other types of rockets and aircrafts (AC) located directly on conical or generalized conic surface of missile or aircraft nose part. Implementation of the proposed method of constructing a conic AA consists in solving a diffraction problem on the drop of an arbitrarily polarized plane wave on the cone conducting surface along its longitudinal axis,

determining the electric current $\vec{\delta}_{rec}(P)$ at an arbitrary point P on the surface of the cone, determining amplitude-phase and polarization excitation of emitters $\vec{\delta}_{trans}(P)$, which satisfies condition

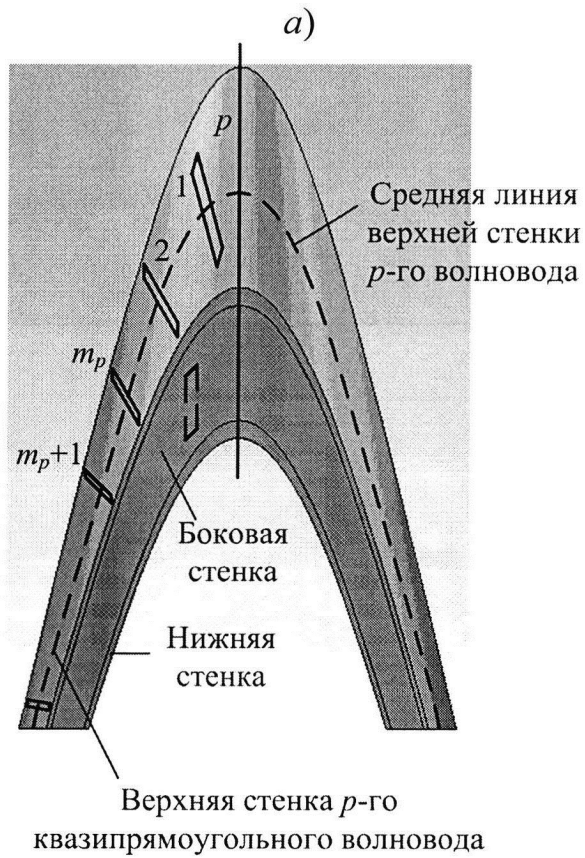
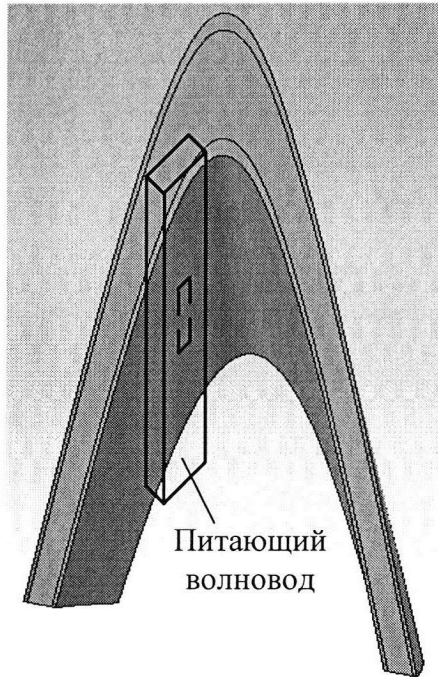
$\vec{\delta}_{trans}(P) = c\vec{\delta}_{rec}^*(P)$, where c is some arbitrary constant; "*" is a sign of complex conjugation and realization by means of slot (or other type) radiators of calculated amplitude-phase and polarization excitation.

EFFECT: technical result consists in formation of total-difference directive patterns in the direction of the axis of the cone with the maximum antenna directive gain on the total channel due to establishment of the optimum amplitude-phase and polarization excitation of the emitters, wherein the directional characteristics of antenna directive gain significantly exceed similar characteristics of the equivalent flat antenna and provide a level of cross-polarization radiation is substantially lower than the level of cross polarization in known analogues of conical AA and AA with ogival shape of surface.

4 cl, 13 dwg

C 1
6 0 6 0 9
2 7 2 3 9 0 9
R U

R U
2 7 2 3 9 0 9
C 1



б)

Двухконусная соосная поверхность и квазипрямоугольные волноводы

Фиг. 5

Изобретение относится к технике сверхвысоких частот, а именно - к антенным решеткам (АР), используемым в бортовых радиолокационных системах (РЛС) ракет класса «земля-воздух», «воздух-воздух» и других типов ракет и летательных аппаратов (ЛА).

5 Исходя из требований, предъявляемых к бортовым АР такого класса, АР должна формировать остронаправленную суммарно-разностную диаграмму направленности (ДН) с максимумом суммарной ДН и минимумом разностной ДН в направлении оси ракеты, обладать высокой механической прочностью, не превышать заданных
10 массогабаритных параметров, устойчиво работать в условиях высоких и низких температур, не нарушать аэродинамические показатели ЛА, обладать высокими характеристиками направленности (коэффициентом направленного действия (КНД), коэффициентом усиления (КУ) и крутизной разностной характеристики μ) и иметь низкую стоимость.

Известно, что для обеспечения хорошей аэродинамики и исключения в конструкции
15 бортовых антенн обтекателя излучатели АР могут располагаться непосредственно на проводящей конической поверхности носовой части ракеты или ЛА [1-6]. Возможно также расположение излучателей АР на произвольной поверхности оживальной формы. Под поверхностью оживальной формы в данном случае подразумевается поверхность
20 вращения с образующей в виде гиперболы, параболы или с произвольной образующей плавной формы. Будем в дальнейшем называть эту поверхность «обобщенной конической».

Излучателями в таких АР могут быть продольные, поперечные или наклонные щели, расположенные вдоль образующей оживальной поверхности или конуса [1, 2, 4-6],
25 излучатели в виде открытых концов волновода или полосковые излучатели, расположенные на этой поверхности [3] (фиг. 1).

Однако существенными недостатками рассмотренных в [1-6] конических АР и АР с оживальной формой являются возможность формирования узконаправленного луча карандашного типа, сканирующего только в ограниченном секторе углов относительно
30 нормали к образующей конуса, [1] или осесимметричного воронкообразного луча [2] с минимумом ДН вдоль оси конуса. Кроме того, такие антенны имеют низкий КУ вдоль оси конуса, не превышающий КУ эквивалентного плоского раскрыва [1], и большой уровень кроссполяризованного излучения [4-6]. Возможные оптимизационные алгоритмы по суммарным характеристикам не дают достаточно убедительного ответа на связь характеристик направленности антенны с ее геометрией. Эти причины не
35 позволяют использовать приведенные в [1-6] конические АР в малоразмерных ракетах указанного выше типа.

Кроме того, в таких АР неизвестен закон оптимального возбуждения и геометрия щелевых или иного типа излучателей и отсутствуют данные о влиянии проводящей конической поверхности на характеристики АР. Существующие способы численной
40 оптимизации по минимизации уровня боковых лепестков ДН, в частности по генетическому алгоритму [7], не дают четкого ответа на влияние геометрии конуса и характеристик отдельных излучателей на характеристики направленности обобщенной конической антенны, так как оптимизация проводится по множителю направленности АР и не учитывает реальных характеристики отдельных излучателей.

45 Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ размещения излучателей на обобщенной конической поверхности и осуществления оптимального возбуждения каждого излучателя, реализующего формирование максимума диаграммы направленности конической антенны в заданном направлении [8]. К недостаткам такого

способа следует отнести отсутствие исходных данных по амплитудно-фазовому распределению, требуемому для формирования ДН с максимальным КНД в заданном направлении, величине максимального КНД (КУ), определению оптимальной поляризационной структуры излучателей, невозможность формирования разностных ДН и отсутствие данных о влиянии дифракционных эффектов на поверхности конуса на суммарно-разностные характеристики конической антенной решетки по основной и кроссполяризационной составляющим излучаемого поля.

Целью изобретения является установление способа размещения излучателей на проводящей конической поверхности, метода формирования суммарно-разностных ДН в направлении оси конуса с максимальным КНД (КУ) по суммарному каналу, установление оптимального амплитудно-фазового и поляризационного возбуждения излучателей, при которых характеристики направленности (КНД, КУ) существенно превышают аналогичные характеристики эквивалентной плоской антенны и обеспечивается уровень кроссполяризационного излучения существенно ниже уровня кроссполяризации в известных аналогах конических АР и АР с оживальной формой поверхности.

Реализация предлагаемого способа построения конической АР заключается в следующем.

На первом этапе решается дифракционная задача о падении произвольно поляризованной плоской волны на проводящую поверхность конуса вдоль его продольной оси и определении электрического тока $\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)$ в произвольной точке P на поверхности конуса [9].

На втором этапе в режиме передачи определяется амплитудно-фазовое и поляризационное возбуждение излучателей $\vec{\delta}_{\text{прд}}(P)$, удовлетворяющее условию

$\vec{\delta}_{\text{прд}}(P) = c\vec{\delta}_{\text{прм}}^*(P)$, где c - некоторая произвольная константа; «*» - знак комплексного сопряжения.

На третьем этапе рассчитанное амплитудно-фазовое и поляризационное возбуждение реализуется с помощью щелевых (или иного типа) излучателей.

Поясним это более подробно. Пусть на проводящую коническую поверхность или поверхность вращения с произвольной образующей оживальной формы падает линейно поляризованная (в общем случае произвольно поляризованная) плоская волна с частотой ω и с определенной ориентацией вектора напряженности электрического поля $\vec{E}_{\text{пад}}$ (например, $\vec{E}_{\text{пад}} = E_{\text{пад}} e^{-ikz} \vec{y}_0$, как показано на фиг. 2, где $E_{\text{пад}}$ - комплексная амплитуда падающего поля при $z=0$). Под действием падающего поля на проводящей поверхности возбуждаются электрические токи, поверхностная плотность которых $\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)$ в приближении физической оптики может быть определена по соотношению

$$\vec{\delta}_{\text{прм}}(P) = 2[\vec{H}_{\text{пад}}(P) \cdot \vec{n}_0], \quad (1)$$

где P - произвольная точка на проводящей поверхности; $\vec{H}_{\text{пад}}(P)$ - напряженность падающего магнитного поля в точке P; \vec{n}_0 - вектор единичной нормали к поверхности в точке P.

В соответствии с принципом взаимности, если теперь в режиме передачи создать на

некоторой части S проводящей обобщенной конической поверхности антенны источники поверхностного тока $\vec{\delta}_{\text{прд}}(P)$ по закону

$$\vec{\delta}_{\text{прд}}(P) = c\vec{\delta}_{\text{прм}}^*(P), \quad (2)$$

где c - некоторая произвольная константа; «*» - знак комплексного сопряжения, то в направлении оси Oz такие источники сформируют ДН с максимумом, направленным вдоль оси Oz , и с максимальным КНД (КУ) при выбранной поверхности S расположения источников и с поляризацией излучаемого поля, совпадающей с поляризацией передающей антенны. В качестве поверхности S для рассматриваемой задачи целесообразно выбрать часть верхней поверхности вращения «обобщенного конуса» с конечной длиной образующей l и с основанием конуса $a_{\text{осн}}$ (фиг. 3).

Представим $\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)$ в виде

$$\vec{\delta}_{\text{прм}}(P) = |\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)| e^{i\Phi_{\text{прм}}(P)} \vec{e}_{\text{прм}}(P). \quad (3)$$

Тогда в соответствии с (2) оптимальное амплитудное распределение $|\vec{\delta}_{\text{прд}}(P)|$, фазовое распределение $\Phi_{\text{прд}}(P)$ и поляризационное распределение $\vec{e}_{\text{прд}}(P)$ для обеспечения максимального КУ в направлении оси Oz должно подчиняться следующим закономерностям:

$$|\vec{\delta}_{\text{прд}}(P)| = c|\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)|, \quad (4)$$

$$\Phi_{\text{прд}}(P) = -\Phi_{\text{прм}}(P), \quad (5)$$

$$\vec{e}_{\text{прд}}(P) = \vec{e}_{\text{прм}}(P). \quad (6)$$

На фиг. 4 представлены рассчитанные зависимости амплитуды и ориентации наводимого тока при падении плоской волны с линейной поляризацией (E_y -я составляющая) на поверхности проводящего конуса с углом при вершине $\alpha=11,3^\circ$. Амплитудное распределение представлено в виде градации цветовой зависимости и представляет из себя концентрические окружности. Поляризационное распределение (ориентация поверхностных токов) представлена более явно на фиг. 4, г - пунктирной линией указано направление течения поверхностных токов. Фазовое распределение поверхностных токов вдоль образующей конуса в плоскости yOz представлено на фиг. 4, д.

Установлено, что требуемое амплитудное распределение источников излучения довольно слабо зависит от продольной координаты источника излучения и в большей степени зависит от азимутальной координаты. Поляризационное распределение источников излучения, представленное пунктирной кривой на фиг. 4, г, также существенно зависит от азимутальной координаты по конусу.

Требуемые амплитудное, фазовое и поляризационное распределения могут быть реализованы с помощью щелевых излучателей. Для осуществления требуемого амплитудно-фазового и поляризационного распределения в щелевых излучателях на конусе последние должны быть расположены в p волноводах ($p=1, 2, \dots, p_{\text{макс}}$, где $p_{\text{макс}}$ - максимальное число волноводов в каждой подрешетке конуса), образованных в результате сечения двух соосных конических поверхностей отрезками p ($p=1, 2, \dots$,

$p_{\text{макс}}+1$) металлических плоскопараллельных поверхностей (фиг. 5 и 6). Система волноводов также может быть образована аналогичной внешней поверхностью p -го квазипрямоугольного волновода и отрезками металлических поверхностей, проходящих через боковые линии p -го волновода на внешней поверхности конуса ортогонально к поверхности обоих соосных металлических конусов, образующих боковые и нижнюю стенки p -го волновода. Квазипрямоугольные волноводы могут образовываться в результате пар рядов близко расположенных точечных контактов, проходящих параллельно продольным осям p -х волноводов и соединяющих две вложенные друг в друга металлические конические поверхности (фиг. 5).

С целью формирования суммарно-разностных характеристик направленности коническая антенная решетка выполнена из четырех подрешеток, каждая из которых состоит из системы изогнутых квазипрямоугольных волноводов, размещенных вдоль гиперболических кривых на поверхности конуса (или кривых на произвольной оживальной поверхности), образованных в результате сечения поверхностей двух соосных конусов (или произвольной оживальной поверхности) системой плоскопараллельных металлических плоскостей (фиг. 2 и 3), расположенных друг относительно друга на расстоянии нижней широкой стенки волновода.

Конфигурация линий на внешней поверхности «обобщенного конуса» при пересечении этой поверхности системой плоскопараллельных плоскостей показана сплошными линиями на фиг. 2 и 3. В частности, если вместо «обобщенного конуса» используется обычный конус с углом при вершине α , то уравнение для p -й кривой имеет вид гиперболы:

$$z(x_p, y) = -\text{ctg} \alpha \sqrt{x_p^2 + y^2}, \quad (7)$$

где x_p - координата плоской p -й. поверхности, описываемой уравнением

$$x = x_p. \quad (8)$$

Это может быть как координата каждой боковой (узкой) стенки квазипрямоугольного волновода (стенки, показанной сплошными линиями с $p=1, 2, \dots, p_{\text{макс}}+1$), так и координата средней линии на верхней широкой стенке волновода, показанной пунктирной линией с $p=1, 2, \dots, p_{\text{макс}}$.

В случае, если расстояние d_p между соседними плоскостями, определяемое вдоль окружности основания конуса с радиусом основания $a_{\text{осн}}$, одинаково и равно d (фиг. 3), то наибольшее число параллельных плоскостей $p_{\text{макс}}$, которые пересекают половину конуса с заданной образующей l и радиусом основания $a_{\text{осн}}$, определяется выражением

$$p_{\text{макс}} = \left] \frac{\pi a_{\text{осн}} / 2}{d} \right[, \quad (9)$$

где $\left] \dots \right[$ означает взятие ближайшего целого числа, а $x_{\text{ср}}$ является средней координатой участка поверхности на конусе между соседними p -ми плоскостями. Поэтому уравнение средней линии участка поверхности на конусе между соседними плоскостями в системе координат (x, y, z) имеет вид

$$z_p = -\text{ctg} \alpha \sqrt{x_{\text{ср}}^2 + y^2}, \quad p = 1, 2, \dots, p_{\text{макс}}, \quad (10)$$

а сами кривые приведены пунктирными линиями на фиг. 2, 3 и 5.

В каждой p -й изогнутой ВЩАР (фиг. 6) расположены узкие щели, ориентация оси

каждой щели выбирается ортогональной ориентации вектора плотности поверхностного тока, возникающего на верхней проводящей конической поверхности при падении на эту поверхность вдоль продольной оси конуса плоскополяризованной электромагнитной волны с вектором электрического поля, параллельным системе p ($p=1, 2, \dots, p_{\text{макс}}$)

5 плоскопараллельных поверхностей (при этом ориентация тока оказывается в соответствии с (6) ортогональной продольной оси верхней широкой стенки изогнутого волновода, описываемой уравнением (10)). Фазовые центры щелевых излучателей для обеспечения однолучевого режима располагаются на минимальном расстоянии друг от друга, обеспечивающем синфазное сложение полей от этих излучателей в направлении оси Oz , т.е. фазовое возбуждение щелевых излучателей $E_{\text{щ}}$ выбирается в соответствии с (5) комплексно-сопряженной фазе поверхностного тока. Закон амплитудного возбуждения $m_p=1, 2, \dots, m_{p_{\text{макс}}}$ щелей обеспечивается выбором смещения щели вдоль поперечной оси p -го волновода, а закон фазового распределения - выбором

15 соответствующего расстояния $l_{m_p, m_{p+1}}$ между соседними m_p, m_{p+1} излучателями в p -м волноводе, а также размера широкой стенки волновода или дополнительного диэлектрического заполнения, обеспечивающего требуемую разность фаз между соседними щелями.

В случае обеспечения произвольно заданной поляризации излучаемого поля излучатели должны быть ориентированы таким образом, чтобы в направлении оси конуса поляризация каждого излучателя совпадала с требуемой поляризацией антенны, т.е. каждый излучатель должен иметь требуемую поляризационную структуру поля излучения в направлении оси конуса, а его положение определяется из условия обеспечения поля требуемой поляризации в направлении оси конуса. В частности, для щелевых излучателей с поляризацией излучаемого поля антенны в направлении оси конуса, совпадающей с направлением \vec{y}_0 , угол поворота излучателя (продольной оси щели) β_2 зависит от угла конуса α и угла образующей $0^\circ < \beta_1 < 180^\circ$, на которой находится

30 фазовый центр излучателя (фиг. 7) следующим образом: $\beta_2 = \arctg\left(\frac{1}{\sin \alpha \operatorname{tg} \beta_1}\right)$. При этом углу образующей $\beta_1=0^\circ$ соответствует положение излучателя с $\beta_2=90^\circ$.

Возможную требуемую разность фаз между соседними щелями с расстоянием $l_{m_p, m_{p+1}}$ (фиг. 8) можно определить из следующих рассуждений. Так, при питании каждого волновода полем бегущей волны, идущей сверху вниз, требуемая разность фаз между соседними излучателями для $p=1$ волновода линейной формы с координатой $x \approx 0$ определяется из соотношения

$$40 \quad \frac{2\pi}{\lambda_B} l_{m_1, m_1+1} + \frac{2\pi}{\lambda} l_{m_1, m_1+1} \cos \alpha_{m_1} \approx 2\pi n, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (11)$$

где λ_B - длина волны типа H_{10} в квазипрямоугольном волноводе, или

$$45 \quad \gamma = \frac{\lambda}{\lambda_B} \approx -\cos \alpha_{m_1} + n \frac{\lambda}{l_{m_1, m_1+1}}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (12)$$

α_{m_1} - угол между направлением оси Oz и средней линией p -го волновода, проходящего через данную точку.

Соответственно, при $n=1$

$$\gamma \approx -\cos \alpha_{m_1} + \frac{\lambda}{l_{m_1, m_1+1}}. \quad (13)$$

Из соотношения (13) для известного значения γ можно выбрать величину отношения $\lambda/l_{m_1, m_1+1}$. В частности, при $a_B=0,7\lambda$, $\alpha_{m_1} = 11,3^\circ$ получаем $l_{m_1, m_1+1} = 0,6\lambda$, где $m_1 = 1, 2, \dots, m_{1\text{макс}}$; $m_{1\text{макс}}$ - максимальное число щелей в первом волноводе.

Для случаев, когда средняя линия верхней широкой стенки p -го квазипрямоугольного волновода, образованного в результате сечения системой плоскопараллельных металлических плоскостей, описывается соотношением (10), синфазность двух соседних излучателей можно обеспечить или за счет выбора расстояния l_{m_p, m_p+1} между соседними излучателями из условия

$$l_{m_p, m_p+1} = \frac{2\pi}{\lambda_B} (l_{m_p+1} - l_{m_p}) + \frac{2\pi}{\lambda} (z_{m_p+1} - z_{m_p}) = 2\pi,$$

где через $l_{m_p+1} - l_{m_p}$ обозначена длина l_{m_p, m_p+1} между двумя соседними излучателями вдоль средней линии p -й образующей, а через $z_{m_p+1} - z_{m_p}$ - продольные координаты точек l_{m_p+1} и l_{m_p} (фиг. 8), или выбором замедления в локальном участке между соседними излучателями, или за счет изменения локального расстояния между широкими стенками с помощью локального диэлектрического заполнения соответствующих участков волноводов.

Для обеспечения синфазного в направлении оси Oz питания соседних волноводов используется последовательная схема питания волноводов, представленная на фиг. 6, в и г, при соответствующем выборе положения первой щели в p -й ВЦАР из условия синфазности полей первых щелей в p -м и $(p-1)$ -м волноводе в направлении оси Oz или при выборе размеров этого волновода при дополнительном фазировании с помощью фазовращателей, устанавливаемых на входе каждого p -го волновода. Наряду с волноводной схемой питания в питающих волноводах возможно использование коаксиальной схемы питания с дальнейшим применением коаксиально-штыревых волноводных возбуждителей в каждой ВЦАР. Достоинствами этой схемы питания являются малые габаритные размеры и возможность обеспечения синфазного сложения полей отдельных ВЦАР в направлении оси Oz с помощью выбора длины питающих кабелей l_p от общего входа до p -го коаксиально-волноводного возбуждителя. Схема коаксиально-волноводного питания представлена на фиг. 9.

Обеспечение желаемого закона амплитудного возбуждения как вдоль каждого волновода, так и между волноводами производится путем выбора коэффициентов связи каждой щели с питающим волноводом (фиг. 6, б). Для обеспечения режима бегущей волны в волноводах с щелями и питающих их волноводах на конце каждого волновода используются согласованные нагрузки.

Возбуждение щелевых излучателей осуществляется полем волны квази- H_{10} в квазипрямоугольном волноводе, каждый из этих квазипрямоугольных волноводов возбуждается от питающего волновода (фиг. 6, в и г) через отверстия связи между этими волноводами, причем фазовое возбуждение каждого прямоугольного волновода такое, при котором максимум излучения решетки направлен вдоль оси Oz .

Коническая АР образована из четырех подрешеток, каждая из которых расположена на 1/4 части конической поверхности и имеет свой вход (выход), который подключается к системе четырех гибридных узлов (фиг. 10), образующих два суммарных (на прием и передачу) и два разностных выхода во взаимно ортогональных плоскостях.

Предлагаемый способ построения конической АР позволяет обеспечить характеристики направленности, превышающие характеристики эквивалентной плоской АР. На фиг. 11 в качестве примера приведена сравнительная расчетная зависимость (по сравнению с соответствующей зависимостью для 1/4 части апертуры эквивалентного плоского раскрыва) выигрыша в КНД (КУ) предлагаемой АР по сравнению с КНД (КУ) эквивалентного плоского раскрыва от размера x/R для конуса с углом при вершине $11,3^\circ$ (радиус основания $2,5\lambda$, высота $12,5\lambda$), которые показывают, что КНД конической АР при $x/R=1$ более чем в 3 раза выше, чем у эквивалентного плоского раскрыва. Чем меньше угол при вершине конуса α , тем больше выигрыш в КНД конической антенны.

На фиг. 12 и 13 показаны рассчитанные ДН по суммарному и разностным каналам в двух ортогональных плоскостях, а также ДН по кроссполяризованной составляющей. Из приводимых ДН следует, что уровень кроссполяризации не превышает -50 дБ от основного уровня излучения.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет разрабатывать антенны, обеспечивающие формирование суммарно-разностных ДН, обладающие малым аэродинамическим сопротивлением и не требующие дополнительного обтекателя. По совокупности заявленных признаков предлагаемый способ построения бортовых конических антенных решеток является новым, позволяющим разрабатывать антенны, обладающие более высокими характеристиками направленности по сравнению с прототипами.

Список источников

1. Воскресенский Д.И., Пономарев Л.И., Филиппов В.С. Выпуклые сканирующие антенны (основы анализа и методы расчета). М.: Сов. радио. 1978.
2. Резников Г.Б. Антенны летательных аппаратов. М.: Сов. радио. 1967.
3. Josefsson L., Persson P. Conformal array antenna theory and design. IEEE Press. 2006.
4. Munger A.D., Guy V., Provencher J.H., Gladman B.R. Conical array studies // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1974. V. 22. №1. P. 35-43.
5. Villeneuve A., Behnke M., Kummer W. Wide-angle scanning of linear arrays located on cones // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1974. V. 22. №1. p.97-103.
6. Gobert J.F., Yang R.F.H. A theory of antenna array conformal to surfaces of revolution // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1974. V. 22. №1. P. 87-91.
7. Aboul-Seoud A.K., Hafez A.-D.S., Hamed A.M., Abd-El-Latif M. A conformal conical phased array antenna for modern radars // 2014 IEEE Aerospace Conference. Big Sky, MT. 2014. P. 1-7.
8. Li Y, Yang F, Ouyang J., Yang P. Synthesis of conical conformal array antenna using invasive weed optimization method // ACES Journal. 2013. V. 28. №11. P. 1025-1030.
9. Горяинов А.В. Дифракция плоской электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси конуса // Радиотехника и электроника. 1961. Т. 6. №1.

(57) Формула изобретения

1. Способ построения волноводно-щелевых антенных решеток в виде системы излучателей, расположенных на обобщенной конической (оживальной) поверхности, заключающийся в том, что возбуждение каждого излучателя подбирается в процессе перебора различных дискретных значений амплитуды, фазы и поляризации излучателя,

отличающийся тем, что предварительно решается задача дифракции плоской волны, падающей вдоль оси конуса с определенной поляризацией на проводящую поверхность конуса, и определяется распределение тока по поверхности конуса

$\vec{\delta}_{\text{прм}}(P) = |\vec{\delta}_{\text{прм}}(P)| e^{i\Phi_{\text{прм}}(P)} \vec{e}_{\text{прм}}(P)$, P - произвольная точка на поверхности конуса, затем

строится АР из щелевых излучателей, расположенных на обобщенной конической

поверхности, возбуждаемых в режиме передачи током возбуждения $\vec{\delta}_{\text{прд}}(P)$ из условия

$\vec{\delta}_{\text{прд}}(P) = c\vec{\delta}_{\text{прм}}^*(P)$, где c - произвольная константа, * - знак комплексного сопряжения,

и ориентированных таким образом, что поляризация поля излучения каждого излучателя совпадает в направлении оси конуса с поляризацией падающего поля,

возбуждение щелевых излучателей осуществляется с помощью системы изогнутых волноводов, образованных участками соосных конических поверхностей и отрезками параллельных металлических плоскостей, проходящих параллельно осям конусов на некотором расстоянии d друг от друга, средние линии внешних стенок которых совпадают с кривыми, образованными пересечением внешней конической поверхности с параллельными оси конуса плоскостями, имеющими в системе координат (x, y, z) при линейной образующей конуса вид гипербола

$$z_p = -\text{ctg } \alpha \sqrt{x_{p\text{ср}}^2 + y^2}, \quad p = 1, 2, \dots, p_{\text{макс}},$$

где α - угол при вершине конуса; p - номер плоскости, имеющей среднюю координату $x_{p\text{ср}}$; $p_{\text{макс}}$ - максимально возможное число плоскостей, пересекающих поверхность

конуса с длиной образующей l и основанием $a_{\text{осн}}$,

продольные оси излучающих щелей при E_y -й поляризации излучаемого поля ориентированы ортогонально продольной средней оси на верхней поверхности

волновода в соответствии с формулой $\beta_2 = \text{arctg} \left(\frac{1}{\sin \alpha \text{tg } \beta_1} \right)$, где α - угол при вершине

конуса, β_2 - угол поворота излучателя (поперечной оси щели), β_1 - угол образующей,

возбуждение щелевых излучателей в каждой из четырех подрешеток моноимпульсной конической антенны осуществляется полем бегущей волны типа квази- H_{10} в волноводах,

которые в свою очередь возбуждаются бегущей волной с помощью питающего

прямоугольного волновода через систему отверстий (щелей) в линейном волноводе,

имеющем общую стенку с излучающими волноводами, расстояние между соседними

излучателями в пределах каждой ВЦАР и расстояние между отдельными ВЦАР

выбираются из условия обеспечения синфазности излучаемых полей в направлении оси

Oz в соответствии с соотношением $\frac{2\pi}{\lambda_{\text{в}}} (l_{m_{p+1}} - l_{m_p}) + \frac{2\pi}{\lambda} (z_{m_{p+1}} - z_{m_p}) = 2\pi$,

где $l_{m_{p+1}} - l_{m_p}$ - расстояние $l_{m_p, m_{p+1}}$ между двумя соседними излучателями вдоль

средней линии p-й образующей; $z_{m_{p+1}} - z_{m_p}$ - разность продольных координат точек

$l_{m_{p+1}}$ и l_{m_p} ,

питающий волновод каждой из четырех подрешеток соединен со схемой распределения мощности для формирования двух суммарных ДН (на передачу и прием) и двух разностных ДН (по азимуту и углу места).

5 2. Способ построения конической АР по п. 1, отличающийся тем, что внешняя поверхность p -го волновода образуется в результате пересечения поверхности внешнего конуса системой плоскопараллельных поверхностей, а боковые стенки каждого изогнутого p -го волновода образуются отрезками металлических поверхностей, проходящих через профиль внешней боковой стенки ортогонально к поверхности обоих соосных металлических конусов.

10 3. Способ построения конической АР по п. 1, отличающийся тем, что с целью уменьшения массогабаритных параметров системы питания от общего входа каждой подрешетки до ВЦАР и обеспечения синфазного сложения полей отдельных ВЦАР в направлении оси Oz используется коаксиальная схема деления мощности от общего входа до p -го коаксиально-волноводного возбуждителя в каждой p -й ВЦАР с выбором
15 длины l_p p -го коаксиального кабеля, обеспечивающего синфазное сложение полей всех ВЦАР в направлении оси Oz .

4. Способ построения конической АР по п. 1, отличающийся тем, что узкие боковые стенки волноводов могут образовываться рядами близко расположенных точечных
20 контактов, проходящих параллельно продольным осям p -х волноводов и соединяющих две вложенные друг в друга металлические конические поверхности.

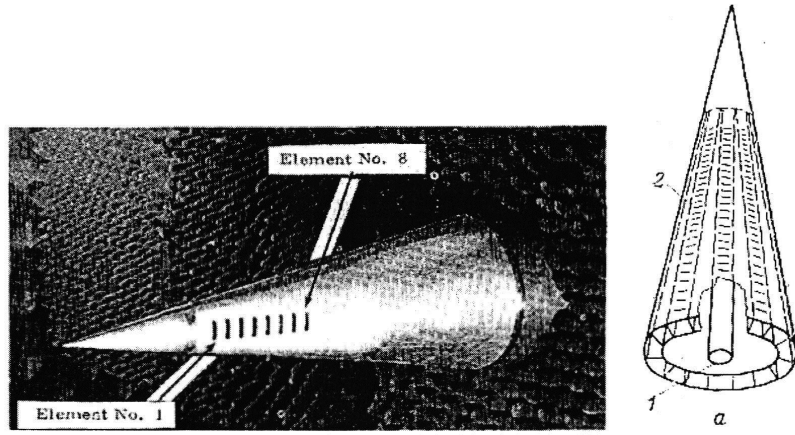
25

30

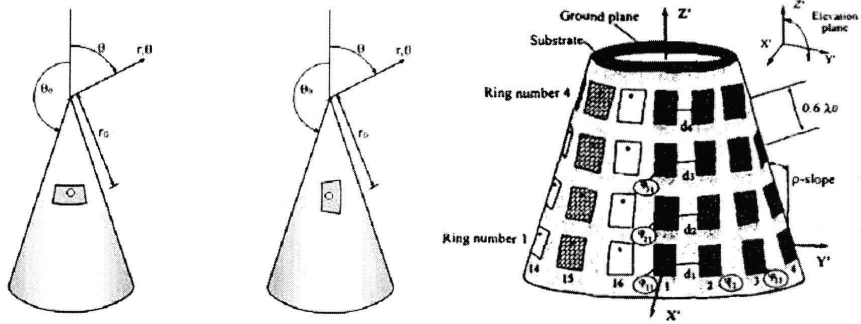
35

40

45



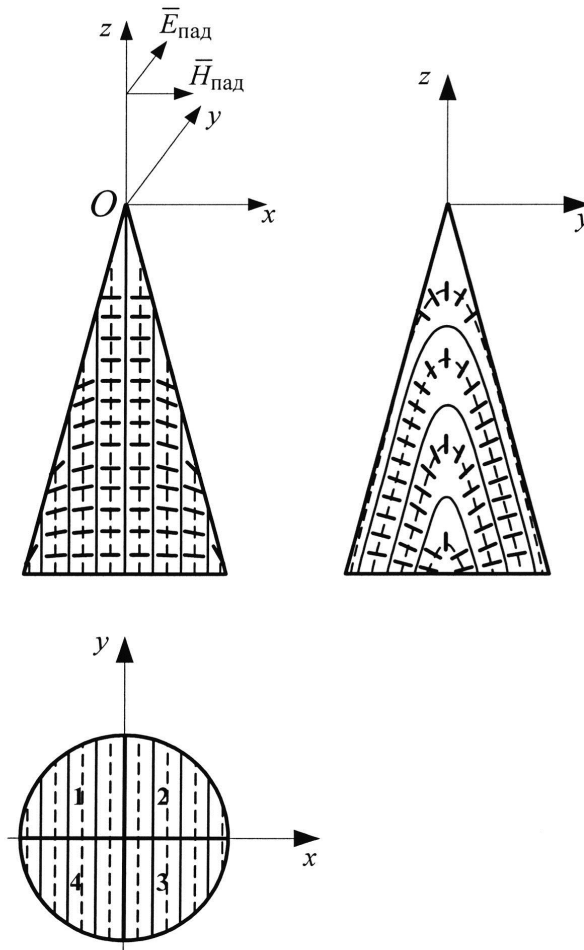
a)



b)

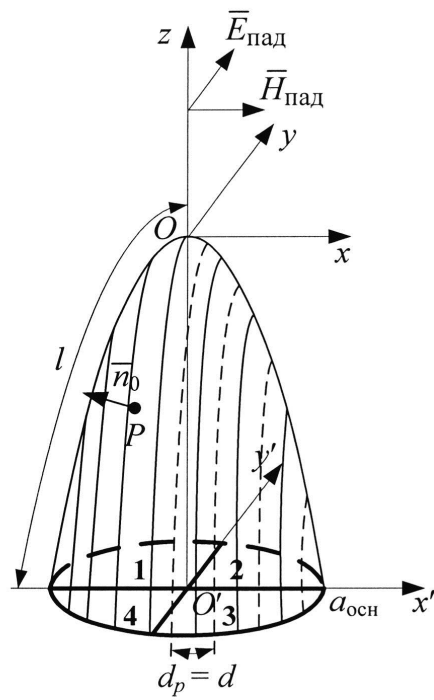
Фиг. 1. Различные варианты излучателей:

a – щелевые излучатели; б – полосковые излучатели

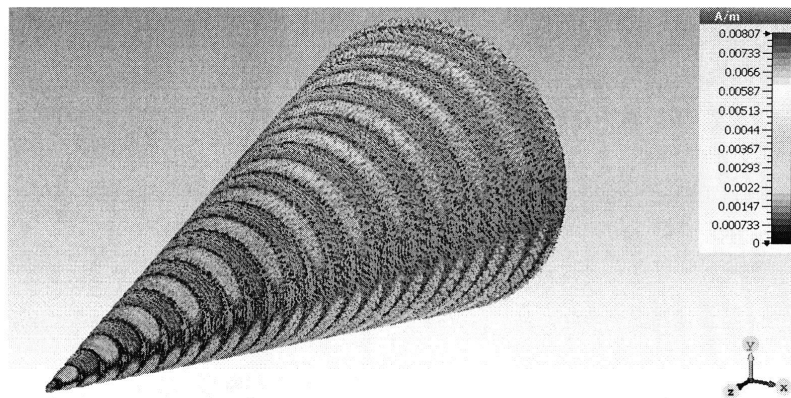


Фиг. 2. Конфигурация ВЦАР на конической поверхности:

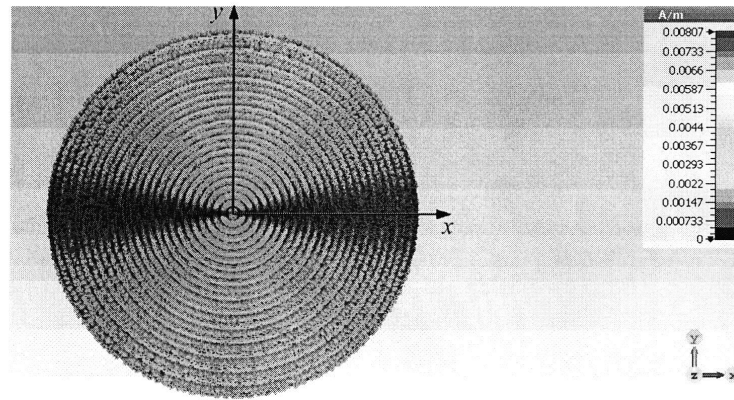
1, 2, 3, 4 – полотна ВЦАР для формирования суммарной и разностных ДН



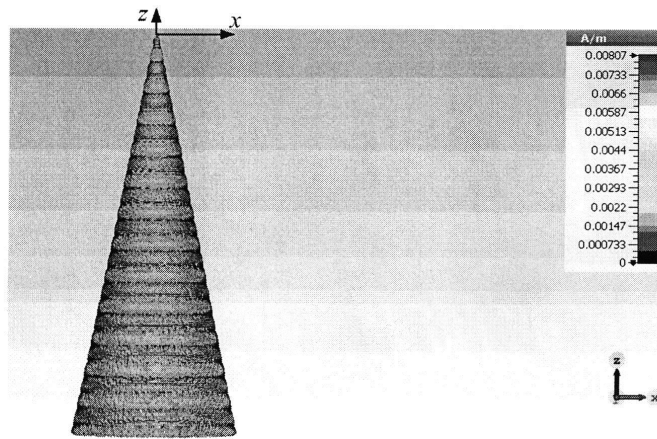
Фиг. 3. Конфигурация четырех ВЦАР на поверхности оживальной формы



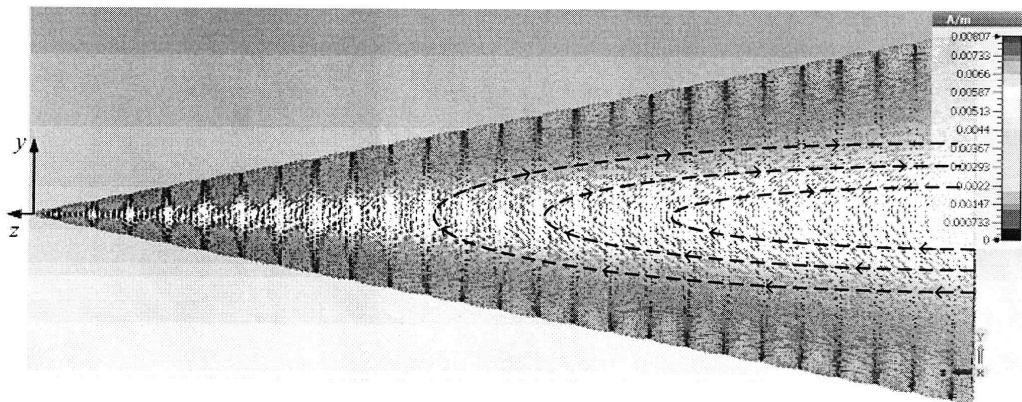
a)



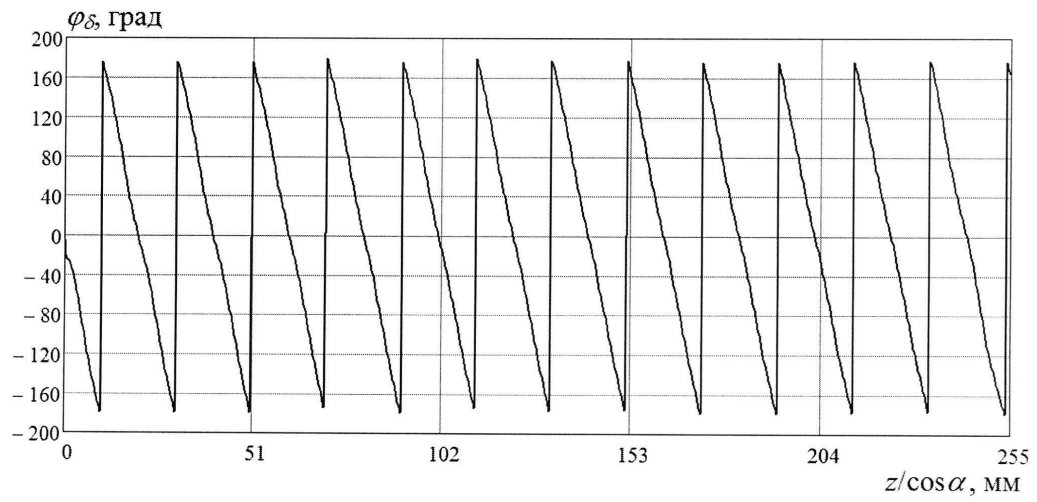
б)



в)

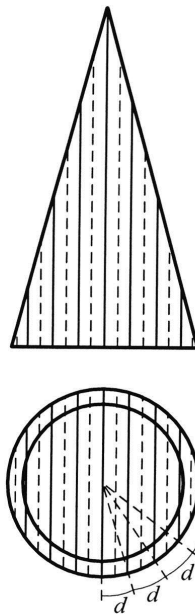


г)

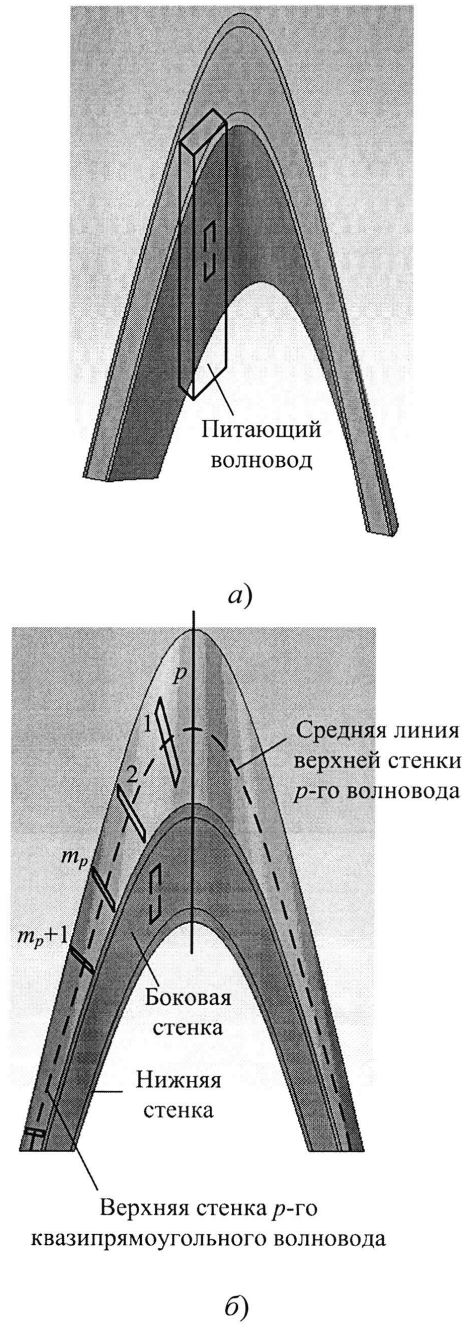


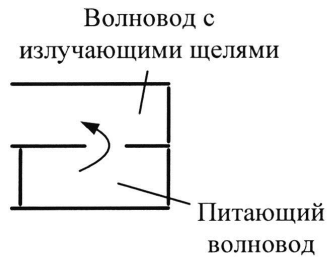
д)

Фиг. 4. Распределение амплитуды и ориентация токов на конической поверхности с углом при вершине $\alpha = 11,3^\circ$ при дифракции плоской волны, падающей вдоль оси Oz : *a* – общий вид; *b* – вид спереди; *в* – вид сверху; *г* – вид сбоку; *д* – фазовое распределение

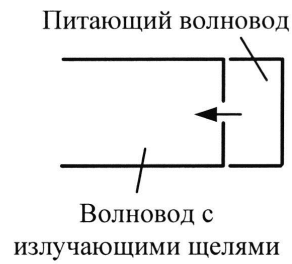


Фиг. 5. Двухконусная соосная поверхность и квазипрямоугольные волноводы





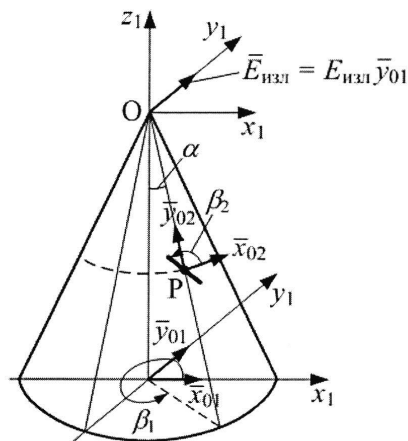
б)



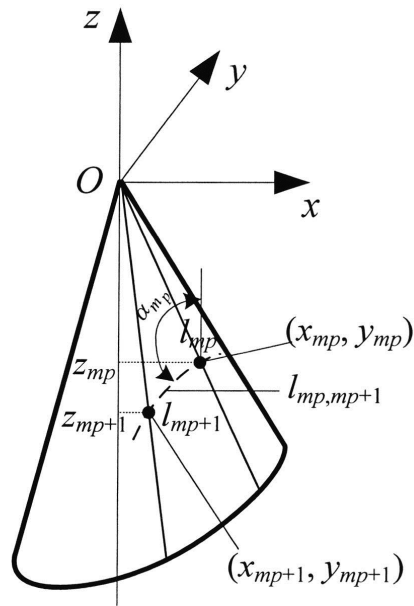
з)

Фиг. 6. Квазипрямоугольная ВЦАР: а – вид изнутри; б – вид снаружи;

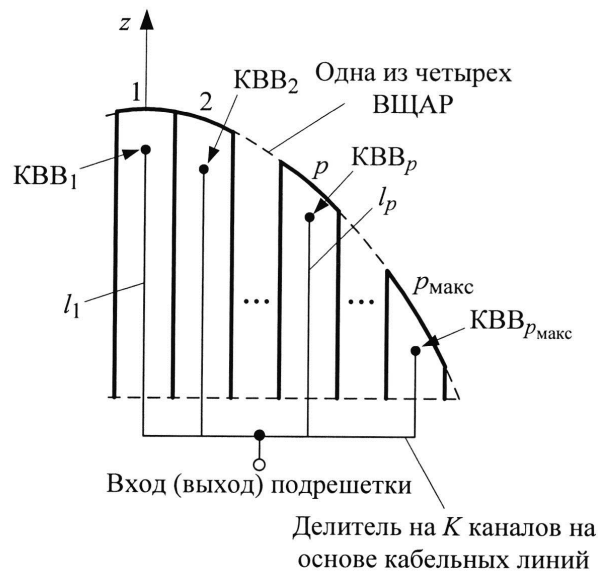
в, з – варианты подключения питающего волновода



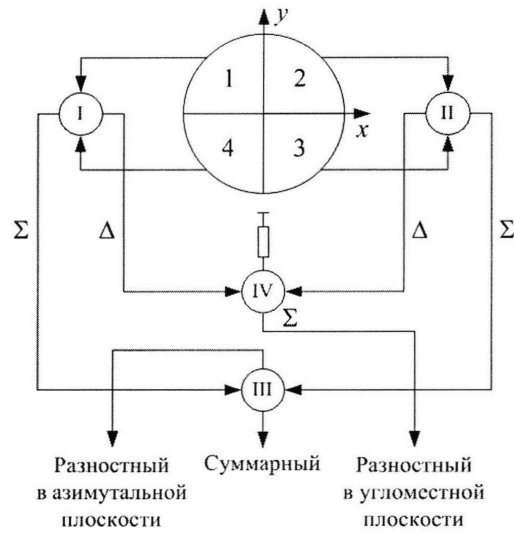
Фиг. 7. Глобальная $(Ox_1y_1z_1)$ и локальная $(Ox_2y_2z_2)$ системы координат, используемые для задания конической поверхности и щелевого излучателя на этой поверхности



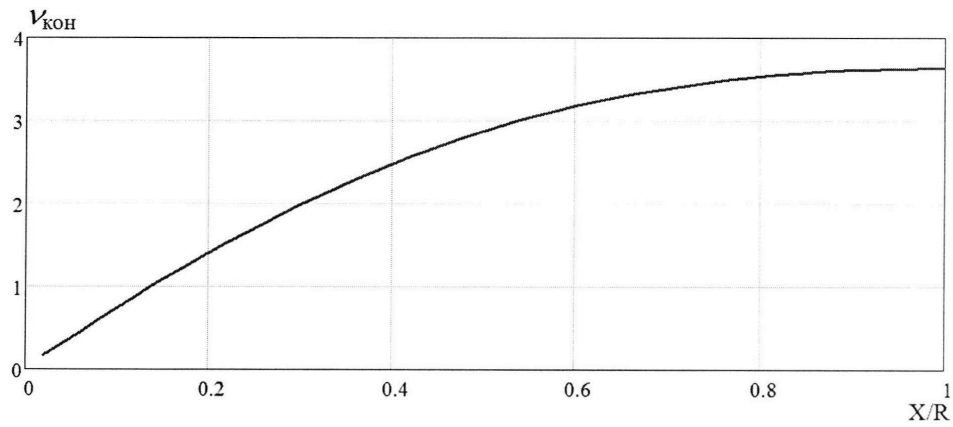
Фиг. 8. Для пояснения расчета разности фаз между соседними излучателями



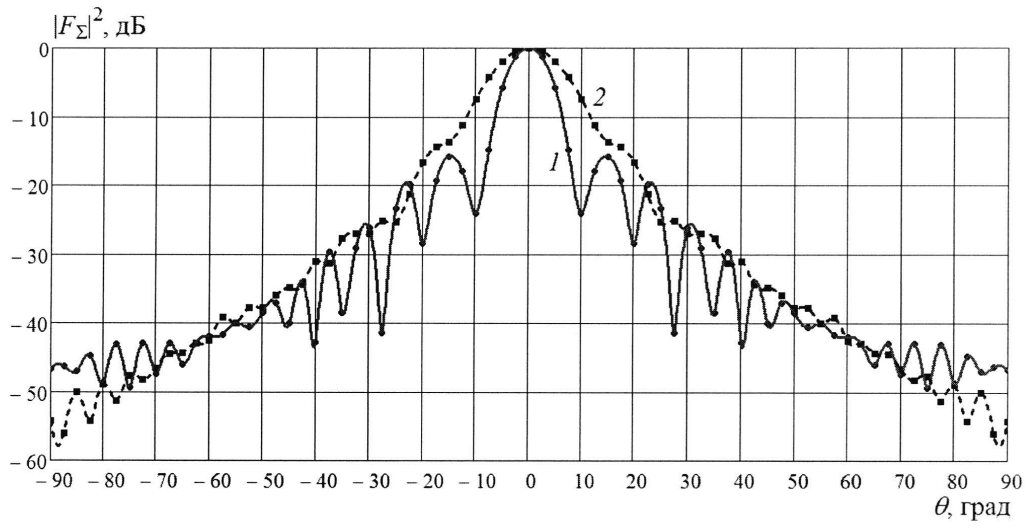
Фиг. 9. Схема питания ВЦАР с использованием коаксиально-волноводных возбуждителей (КВВ)



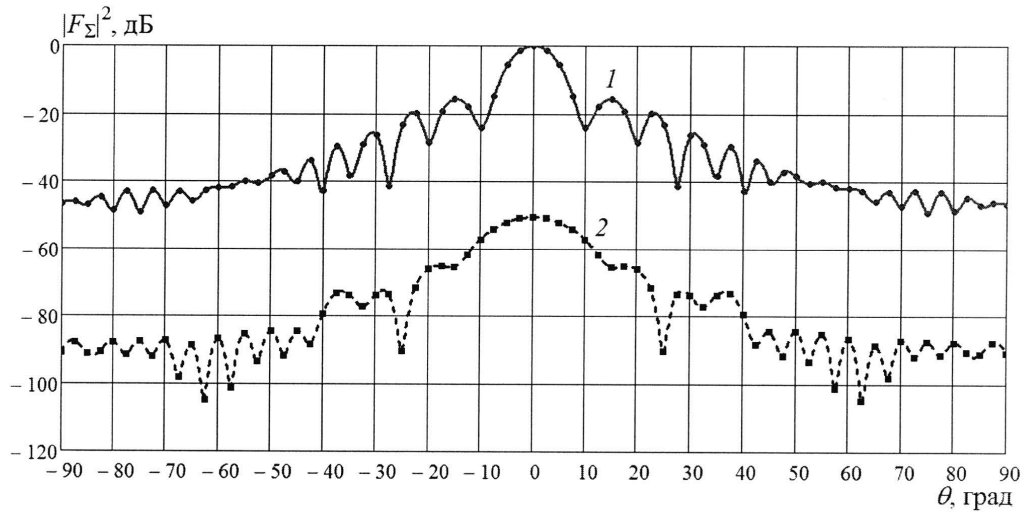
Фиг. 10. Гибридные узлы и выходы четырех подрешеток



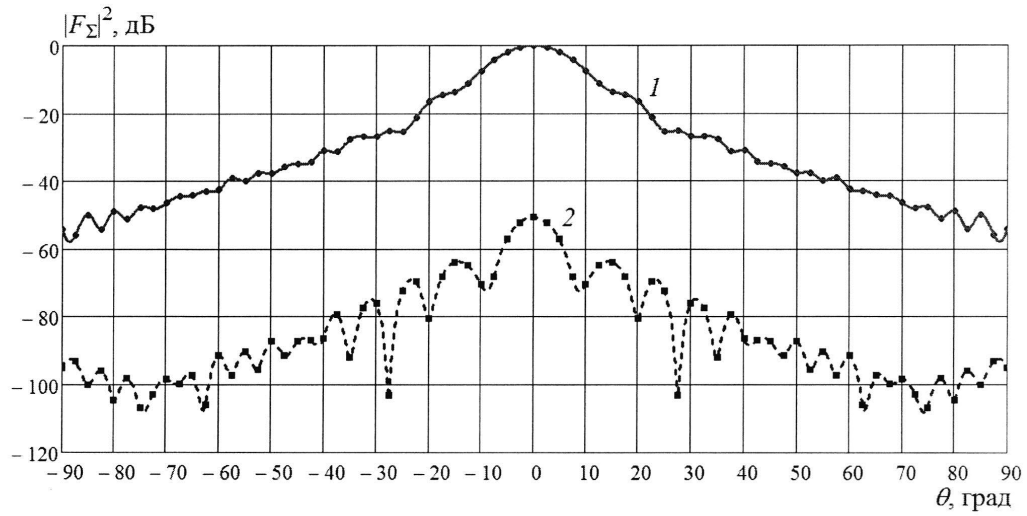
Фиг. 11. График зависимости коэффициента использования поверхности конической антенны $V_{\text{кон}}$ от величины X/R



a)

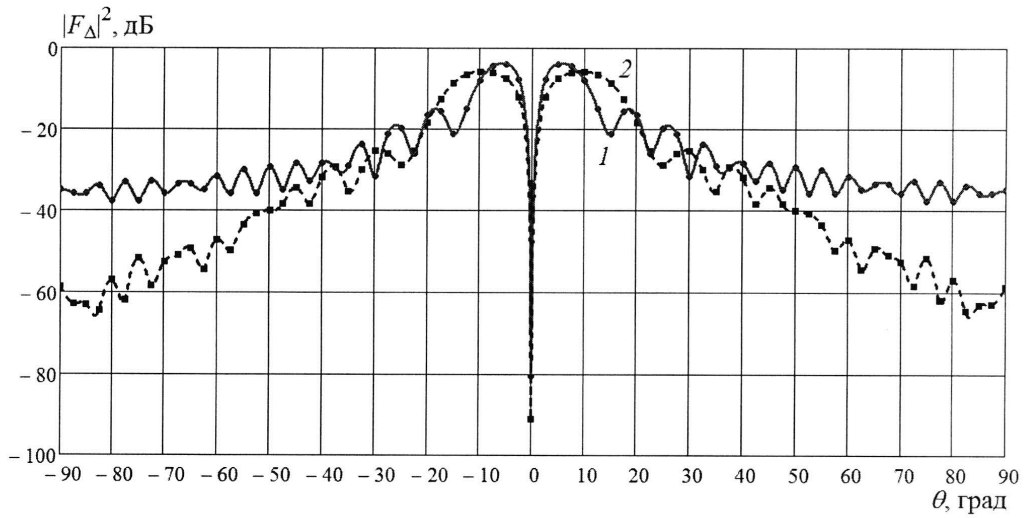


б)

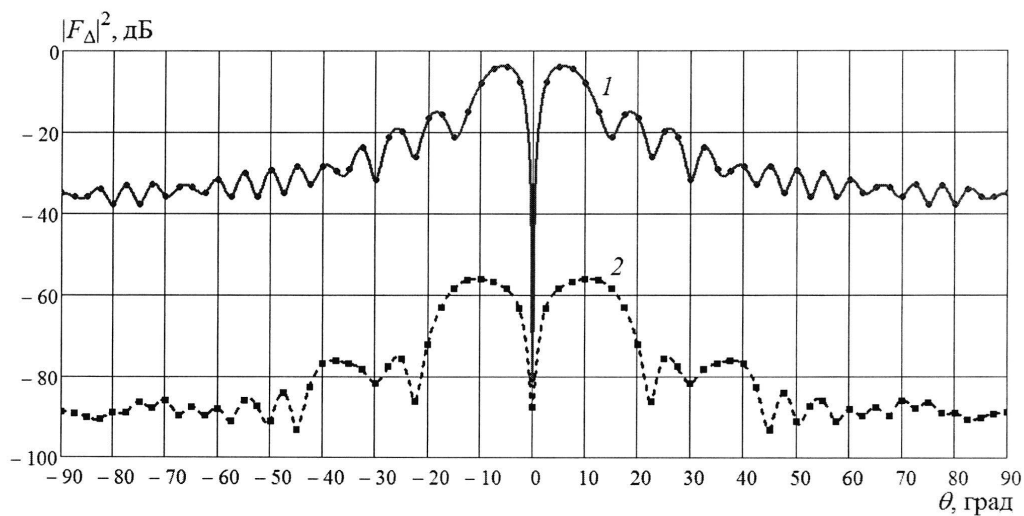


б)

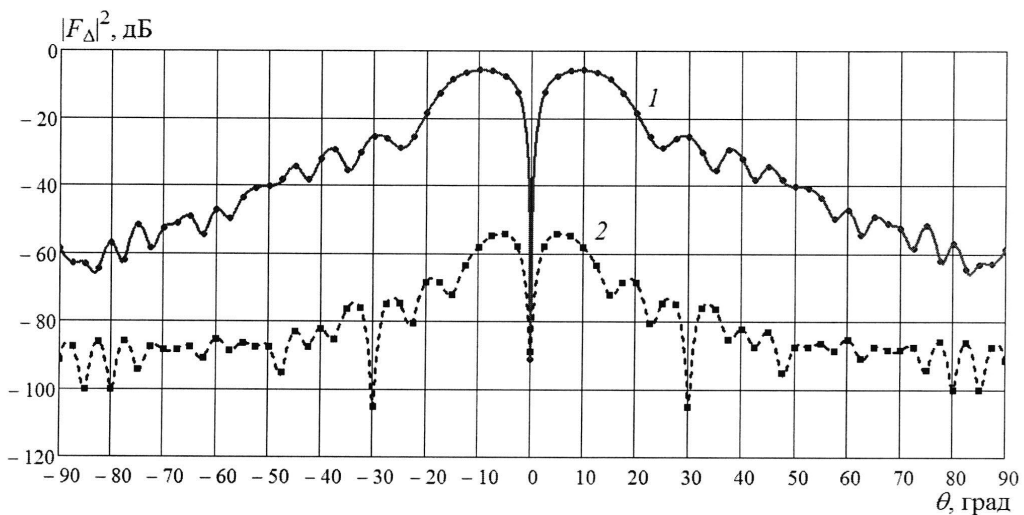
Фиг. 12. ДН по суммарному каналу в двух плоскостях при $X/R = 1$: а – по основной поляризации (1 – в плоскости zOy ($\varphi = 90^\circ$); 2 – в плоскости zOx ($\varphi = 0^\circ$)); б – в плоскости zOy ($\varphi = 90^\circ$) (1 – по основной поляризации; 2 – по кроссполяризации); в – в плоскости zOx ($\varphi = 0^\circ$) (1 – по основной поляризации; 2 – по кроссполяризации)



а)



б)



в)

Фиг. 13. ДН по разностным каналам в двух плоскостях при $X/R = 1$: а – по основной поляризации (1 – в плоскости zOy ($\varphi = 90^\circ$); 2 – в плоскости zOx ($\varphi = 0^\circ$)); б – в плоскости zOy ($\varphi = 90^\circ$) (1 – по основной поляризации; 2 – по кроссполяризации); в – в плоскости zOx ($\varphi = 0^\circ$) (1 – по основной поляризации; 2 – по кроссполяризации)