

УДК 621.396.67

В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, Т.Д. Бережная, А.М. Гричанюк, В.А. Краюшкин, М.Г. Шокин

*Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков*

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С МАТРИЧНЫМ ОБЛУЧАТЕЛЕМ

*В рамках разработанной методики определен порядок расчета характеристик элементов двухзеркальной антенны, осуществлено согласование антенны с матричным облучателем в виде обоймы диэлектрических стержневых излучателей.*

*радиометрические информационные системы миллиметрового диапазона радиоволн, двухзеркальная антенна Кассегрена, матричный облучатель*

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Радиометрические информационные системы миллиметрового диапазона волн (РМИС ММД) используются для навигации различных типов летательных аппаратов (ЛА) по наземным ориентирам [1 – 4]. В качестве таких ориентиров выступают, как правило, площадные и протяженные объекты (природные образования и искусственные сооружения). Навигация ЛА по таким объектам осуществляется путем анализа двумерных изображений объектов, формируемых информационными датчиками РМИС. При этом мгновенная зона обзора системы может быть достаточно большой. Применение в данном случае сканирующих РМИС малоэффективно, так как не реализуется высокая флуктуационная чувствительность РМ информационных датчиков. Формирование радиометрических изображений в реальном масштабе времени на борту ЛА возможно благодаря применению многоканальных, матричных РМИС.

В традиционной литературе по антенно-фидерным устройствам [5 – 7] приведены методики расчета одно- и двухзеркальных параболических антенн, линзовых антенн с одиночным облучателем, либо с облучателями, расположенными вне фокальной линии на оптимальных кривых. В работах [2, 3] приведены примеры технической реализации параболических и линзовых антенн с облучателями в виде линейки размерностью 16 и матрицы размерностью 2×16, 4×8 элементов. Однако в данных работах применяются антенны больших размеров, линзовой диаметром 600мм и параболической диаметром 900 мм.

Создание апертурных антенн малого диаметра с матричным облучателем требует учета разносторонних, противоречивых факторов: перелива энергии за края антенны, затенения однозеркальной параболической антенны матричным облучателем, либо затенения двухзеркальной антенны субрефлектором, трудностей компоновки матричного облуча-

теля в малом объеме с требуемыми характеристиками. В настоящее время отсутствуют методики расчета одно- и двухзеркальных антенн с матричным облучателем. При этом в связи с тем, что для размещения в малом объеме ЛА более приемлемыми являются короткофокусные двухзеркальные антенны Кассегрена, в первую очередь необходимо разработать методику расчета именно двухзеркальных антенн с матричным облучателем.

**Целью статьи** является разработка методики расчета характеристик двухзеркальных антенн с матричным облучателем.

### Основной материал

Двухзеркальная антенна Кассегрена состоит из облучателя, параболического зеркала или рефлектора и небольшого гиперболического зеркала – субрефлектора. Принцип действия антенны Кассегрена заключается в том, что сферическая волна облучателя преобразуется с помощью последовательного отражения от двух зеркал в плоскую волну в фокальной плоскости рефлектора (апертуре), где и формируется синфазное амплитудное распределение [5 – 7].

В основных схемах двухзеркальных антенн (Кассегрена и Грегори), а также в их модификациях улучшение амплитудного распределения достигается не только выбором диаграммы направленности (ДН) облучателя и фокусного расстояния зеркала (как в однозеркальных параболических антеннах), но и подбором параметров субрефлектора и коррекцией его профиля совместно с профилем основного зеркала (рефлектора).

Двухзеркальные антенны имеют следующие достоинства:

- улучшенная структура бокового излучения за счет дифракции на краях, максимум которого ориентирован в верхнюю («малошумящую») область;
- возможность применения эффективных облучателей и облучающих систем, обеспечивающих широкополосность системы и многоцелевое использование антенны;

– уменьшение потерь на «переливание» и кросс-поляризацию.

Немаловажным преимуществом рассматриваемых антенн является удобная компоновка облучателя и следующих за ним приемных модулей, при которой уменьшается длина волноводного тракта и снижаются потери в фидерной системе.

В двухзеркальной системе проще реализовать режим конического сканирования либо обзор визируемой поверхности с помощью матричного группового облучателя.

К недостаткам двухзеркальных антенн можно отнести затенение субрефлектором, ограничения по применению в длинноволновом диапазоне, сравнительно высокую конструктивную сложность и стоимость.

**Основные расчетные характеристики двухзеркальной антенны.** На рис. 1 приведена схема антенны Кассегрена и отображены основные элементы антенны.

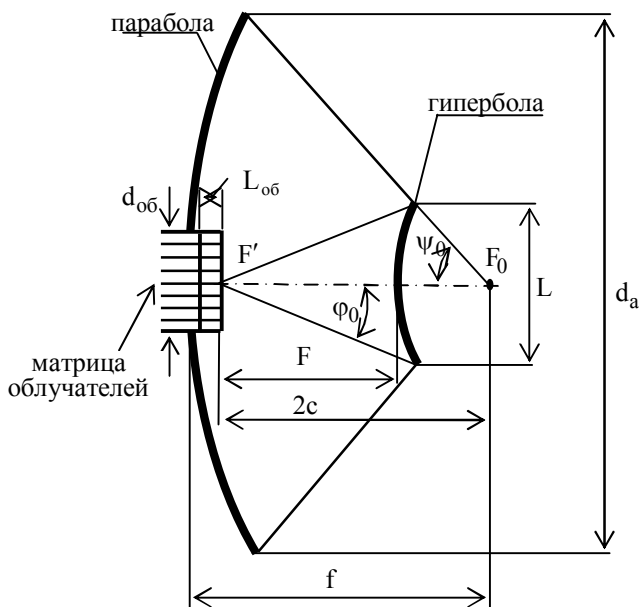


Рис. 1. Схема антенны Кассегрена

Заданными величинами при расчете характеристик двухзеркальной антенны Кассегрена для случая размещения антенны на борту УСП с ограниченной площадью миделевого сечения являются:

- рабочая длина волны  $\lambda$ ;
- размеры (диаметр) антенны  $d_a$  (рефлектора).

Искомыми характеристиками являются следующие:

- диаметр гиперболического субрефлектора  $L$ ;
- апертурные углы параболического рефлектора и гиперболического субрефлектора  $\psi_0, \varphi_0$ ;
- фокусное расстояние параболического рефлектора и расстояние между фокусами гиперболы  $f, 2b$ ;
- расстояние от фазового центра облучателя до вершины субрефлектора  $F = b \cdot ((b+1)/b)$ .

Перечисленные параметры (их шесть) и заданный диаметр параболического рефлектора  $d_a$  связаны выражениями [7]:

$$\operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} = \frac{e+1}{e-1} \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2}; \quad (1)$$

$$\operatorname{ctg} \varphi_0 + \operatorname{ctg} \psi_0 = \frac{4b}{L}, \quad (2)$$

и соотношением для параболического рефлектора

$$d_a = 4f \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2}. \quad (3)$$

Задавая значение апертурного угла в пределах  $60^\circ \leq \psi_0 \leq 80^\circ$ , что характерно для двухзеркальных антенн [5, 6] и пользуясь соотношением (3), можно вычислить фокусное расстояние параболоида  $f$ .

Как следует из источников [6,7], с уменьшением эксцентриситета ( $e \rightarrow 1$ ) при постоянном угле  $\psi_0$  уменьшается диаметр субрефлектора и апертурный угол  $\varphi$ . При этом, для того чтобы субрефлектор перехватывал большую часть энергии облучателя, ДН последнего должна быть достаточно узкой, что достигается с помощью увеличения диаметра апертурного облучателя  $d_{об}$  либо увеличения направленных свойств отдельных излучателей матричного облучателя. При этом в случае  $d_{об} \gg L$  происходит недопустимое затенение рефлектора. К тому же уменьшение диаметра субрефлектора при  $e \rightarrow 1$  ограничено дифракционным пределом

$$L \geq (6-8)\lambda, \quad (4)$$

ниже которого отраженное от субрефлектора поле будет сильно искажаться из-за возрастания интенсивности краевых волн, подобных волнам, возникающим на кромках параболического рефлектора.

Если же увеличивать эксцентриситет (например,  $e \rightarrow 3$ ), то увеличивается и угол  $\varphi_0$ , что позволяет использовать слабонаправленные облучатели с меньшим диаметром  $d_{об}$ . Однако при этом возникает опасность чрезмерного затенения апертуры субрефлектором из-за возрастания его диаметра.

По этим причинам величину эксцентриситета выбирают в пределах

$$1,2 \leq e < 2, \quad (5)$$

после чего определяют из (1) значения апертурного угла  $\varphi_0$

$$\varphi_0 = 2 \operatorname{arctg} \left[ \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} \frac{(e-1)}{(e+1)} \right], \quad (6)$$

которые составляют обычно  $10^\circ < \varphi_0 < 30^\circ$ .

Расчет диаметра субрефлектора производится по формуле, полученной из выражения (2) с учетом (1) и (3):

$$\frac{L}{d_a} = \frac{2b}{f} \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} / \left( \left( \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} \right) \left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\psi_0}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} \right) \right), \quad (7)$$

Анализ зависимости  $L/d_a$  от углов  $\varphi_0, \psi_0$  при различных значениях  $2b/f$ , показывает, что при  $2b = f$ , когда облучатель расположен в вершине параболического рефлектора, субрефлектор имеет предельные значения диаметра, что приводит к недопустимому затенению рефлектора. Так, при  $2b/f \approx 1$  и величине угла  $\varphi_0 = 30^\circ$ , в диапазоне углов  $\psi = 60^\circ - 80^\circ$  значение диаметра субрефлектора находится в пределах  $L = (0,375 - 0,312)d_a$ . Уменьшение отношения  $2b/f$  при постоянном  $\varphi_0$  снижает затенение апертуры рефлектора субрефлектором. В связи с этим значения данного параметра необходимо выбирать в пределах  $0,35 \leq 2b/f \leq 0,7$ . При этом обеспечиваются приемлемые значения диаметра субрефлектора  $0,08 \leq L/d_a \leq 0,2$ .

**Расчет коэффициента направленного действия (КНД) двухзеркальной антенны.** Расчет КНД двухзеркальной антенны осуществляется так же, как расчет КНД однозеркальной антенны, по формуле:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S \vartheta, \quad (8)$$

где  $S$  – площадь антенны;  $\vartheta$  – обобщенный коэффициент использования поверхности (КИП) антенны.

Составляющими обобщенного КИП являются апертурный КИП, КИП, учитывающий «переливы» энергии за края рефлектора, затенение антенны субрефлектором и элементами его крепления, фазовые искажения в апертуре, кросс-поляризационное излучение, неточности наведения антенны, интерференцию поля облучателя и антенны, случайные фазовые ошибки.

Произведение первых двух составляющих обобщенного КИП: апертурного КИП и КИП, учитывающего «переливы» энергии за края параболического рефлектора, представляет, так называемую, эффективность антенны  $q$ , величина которой у двухзеркальной антенны выше, чем у однозеркальной антенны и достигает величины  $q \leq 0,7$  [7].

На величину КНД двухзеркальной антенны существенное влияние оказывает затенение апертуры субрефлектором.

Анализ затенения в апертуре антенны Кассегрена производится так же, как и для однозеркальной антенны, если диаметр облучателя заменить на диаметр субрефлектора  $L$ .

Потери  $\chi_T$  за счет затенения субрефлектором вычисляются по формуле:

$$\chi_T = \frac{2\alpha^2}{2 - A_1} \left( 1 - \frac{A_1}{2} \alpha^2 \right), \quad (9)$$

где  $\alpha = L/d_a$ .

Параметр  $A_1$  амплитудного распределения (в частности косинусоидального) в раскрыве параболической антенны, который для синфазной апертуры и отсутствии пьедестала в распределении ( $A_0 = 0$ ), равен  $A_1 = 1$  ( $A_0 + A_1 = 1$ ).

Выражение для КИП, учитывающего затенение антенны субрефлектором и элементами его крепления имеет вид [7]:

$$\vartheta_T = \left[ 1 - (\chi_T + \chi_{пл} + \chi_{сф}) \right]^2, \quad (10)$$

где  $\chi_{пл}, \chi_{сф}$  – затенение опор крепления субрефлектора по плоской и сферической волне, которые при соответствующем выборе конструкции опор составляют малую величину.

Перемножая величины  $\vartheta_T$  из (10) и  $q$ , получаем величину обобщенного КИП  $\vartheta$  для расчета КНД в соотношении (8).

**Расчет характеристик матричного облучателя.** При построении матрицы облучателей антенны значительные трудности связаны с выбором типа одиночного облучателя. Результаты анализа противоречивых требований таких, как сохранение малых размеров матрицы, снижение эффекта затенения апертуры антенны, обеспечение сравнительно высокой направленности излучения облучателя не больше  $30^\circ$  требуемого распределения поля на субрефлекторе при жестких ограничениях на совместное размещение соседних облучателей, затрудняет использование традиционных типов облучателей: рупорных, вибраторных, в виде открытого конца волновода.

Анализ проведенных исследований [8 – 10] показывает, что целесообразно использовать в качестве элементарных облучателей матричного группового облучателя для двухзеркальной антенны облучатели в виде антенн поверхностных волн: щелевые антенны продольного излучения, стержневые диэлектрические антенны.

**Облучатели в виде щелевых антенн.** В щелевых антеннах фазовая скорость волны, распространяющейся вдоль антенны, меньше скорости света ( $c/v \geq 1$ ) и главный лепесток ДН ориентирован вдоль оси антенны. Щелевые антенны подразделяются на линейно расширяющиеся щелевые антенны, антенны с постоянной шириной щели и экспоненциально расширяющиеся щелевые антенны. Все они характеризуются длиной ( $L$ ), шириной ( $W$ ), углом раствора щели ( $\alpha$ ), а также характеристиками материала подложки (диэлектрическая проницаемость –  $\epsilon$ , толщина –  $d_{эф}$ ). Внешний вид облучателя, представляющего собой расширяющуюся щель на диэлектрической подложке, вставляемую в открытый конец волновода, представлен на рис. 2. Существует несколько типов щелевых антенн с различным законом изменения ширины щели. На рис. 2 представлена щелевая антенна с постоянной шириной щели, так называемая антенна Вивальди.

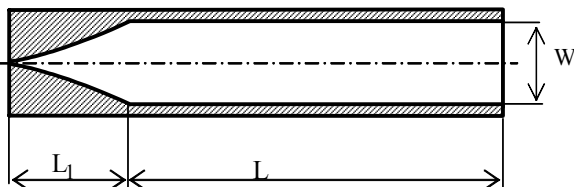


Рис. 2. Щелевая антенна с постоянной шириной щели (антенна Вивальди)

Для линейно расширяющейся антенны ширина ДН по уровню 3 дБ (в радианах) изменяется по закону  $\sqrt{\lambda/L}$ . При длине антенны  $L/\lambda=(4...7)$  и коэффициенте укорочения волны  $\xi=(c/v)\approx 1$  КНД вычисляется по формуле  $G_m \sim 10L/\lambda$ .

Изменение профиля (т.е. угла  $\alpha$ ) слабо влияет на ширину ДН. С уменьшением толщины подложки  $d_{\text{эф}}$  характеристики ДН данной антенны соответствуют обычной антенне бегущей волны с низким уровнем боковых лепестков [9].

Антенна с постоянной шириной щели включает в себя секцию постоянной ширины  $W$ , длиной  $L$  и экспоненциально расширяющуюся секцию возбуждения  $L_1$ . Диаграмма направленности данной антенны оптимальна при  $L=(5...6)\lambda$ ,  $W \sim 0,8\lambda$ ,  $\epsilon=2,2$  и имеет примерно одинаковую ширину в двух плоскостях (Е и Н).

Для антенны с экспоненциально расширяющейся шириной щели вид щели описывается как

$$Z(x) = \pm A L_1^{px}, \quad (11)$$

где  $x$  – продольная координата;  $A$  и  $p$  – параметры.

При длине антенны  $L/\lambda \geq 20$  из-за потерь в облучателе ДН начинает расширяться.

На основании сравнительного анализа различных щелевых облучателей можно сделать следующие выводы [10].

1. При одной и той же длине облучателя наиболее узкую ДН формируют антенны с постоянной шириной щели.

Благодаря постоянной ширине оптимальная фазовая задержка достигается при малой длине антенны ( $L/\lambda = 5...6$ ). Однако полоса пропускания этих антенн имеет меньшее значение в сравнении с линейно- и экспоненциально расширяющимися щелевыми антеннами.

2. Уровни боковых лепестков линейно и экспоненциально расширяющихся щелевых антенн несколько выше по сравнению с антенной, имеющей постоянную ширину щели.

Таким образом, для реализации решетки облучателей зеркальных или линзовых антенн наиболее целесообразно использовать антенну с постоянной шириной щели. При этом длина ее составляет  $L = (5...6)\lambda$ , а ширина  $W/\lambda \sim 0,8...1$ .

Ширина ДН щелевых антенн этого типа не зависит от поперечных размеров антенн, ДНА является симметричной и в зависимости от продольных размеров антенны лежит в пределах  $20^\circ - 30^\circ$ .

Щелевые антенны разрабатываются с помощью технологии напыления металла на диэлектрик. При этом обеспечивается высокая степень идентичности парциальных облучателей антенны.

**Облучатели в виде диэлектрических стержневых антенн.** Наиболее перспективный тип антенн поверхностных волн, которые могут быть использованы в качестве излучателей для матричного облучателя многоэлементной антенны, являются диэлектрические стержневые антенны (ДСА). ДСА представляет собой стержень из диэлектрика длиной  $L$ , возбуждаемый круглым или прямоугольным волноводом (рис. 3). Антенна формирует осевое излучение за счет возбуждения бегущей поверхностной волны на границе раздела диэлектрик – воздух.

Принцип функционирования ДСА заключается в том, что фазовая скорость распространения волн  $v$  вдоль стержня зависит от диэлектрической проницаемости материала, а также от соотношения между диаметром стержня  $d$  и длиной волны  $\lambda$  [6, 8]. От этих же параметров зависит соотношение между величиной мощности переносимой внутри и вне стержня. Причем существуют два крайних случая.

В первом случае при отношении  $d \leq \lambda/4$  ( $d/\lambda \leq 0,25$ ) фазовая скорость вдоль стержня близка к скорости света в свободном пространстве  $c/v \approx 1$ . (12)

При этом большая часть всей мощности проходит вне стержня.

Во втором случае для стержней, у которых  $d/\lambda \rightarrow 1$ , фазовая скорость волн заметно понижается и приближается к значению, соответствующему распространению волн в неограниченном диэлектрике, т.е. к величине

$$c/v = \sqrt{\epsilon}, \quad (13)$$

где  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала стержня.

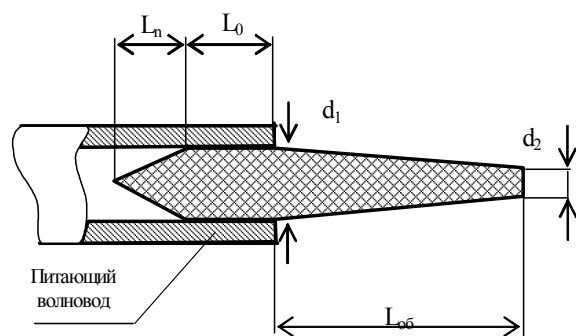


Рис. 3. Диэлектрическая стержневая антенна

При увеличении поперечных размеров стержня увеличивается доля мощности, концентрирующейся в стержне. Однако это увеличение создает условия для возбуждения волн высших типов, что не желательно. Существуют некоторые оптимальные размеры сечения диэлектрического стержня, при которых для заданной длины волны получается максимальный КНД. При этом между длиной стержня  $L$  и коэффициентом укорочения волны  $\xi = \frac{c}{v}$ , как для всякой антенны бегущей волны, существует пара оптимальных соотношений, при которых реализуется максимальный КНД вдоль оси антенны [6]:

$$\xi_{\text{опт}} = 1 + \frac{\lambda}{2L_{\text{об}}}; \quad L_{\text{об опт}} = \frac{\lambda}{2(\xi - 1)}. \quad (14)$$

Выражение для диаграммы направленности одиночного диэлектрического облучателя имеет вид [6]:

$$F(\theta) = \frac{\sin \left[ \frac{kL_{\text{об}}}{2} \left( 1 + \frac{\lambda}{2L_{\text{об}}} - \cos \theta \right) \right]}{\frac{kL_{\text{об}}}{2} \left( 1 + \frac{\lambda}{2L_{\text{об}}} - \cos \theta \right)}, \quad (15)$$

где  $\theta$  – угол, отсчитываемый от оси стержневой антенны, максимум излучения соответствует значению  $\theta = 0$ ;  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – коэффициент фазы или волновое число.

Таким образом, пользуясь выражениями (13) – (14) можно, задаваясь продольными размерами стержневой антенны ( $L_{\text{об}}/\lambda$ ) и величиной  $\varepsilon$  для данного типа диэлектрика, определить поперечные размеры стержня ( $d/\lambda$ ). Далее по формуле (15) строится диаграмма направленности облучателя. И по уровню главного лепестка и уровню первого бокового лепестка анализируется возможность коррекции (увеличения или уменьшения) продольного и поперечного размера диэлектрического стержня. Полученные поперечные размеры стержня могут быть скорректированы путем сравнения с данными, полученными экспериментально и описываемыми соотношениями [6]:

$$d_1 = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi(\varepsilon - 1)}}; \quad d_2 = (0,6 - 0,7)d_1. \quad (16)$$

С другой стороны, для уменьшения отраженной волны в стержне он выполняется в виде конуса. При этом максимальная толщина стержня  $d_1$  должна удовлетворять неравенству

$$\frac{0,585}{\sqrt{\varepsilon}} < \frac{d_1}{\lambda} < \frac{0,74}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (17)$$

Для согласования волновода с диэлектриком стержень антенны имеет конусный переход (рис. 3)

$L_n$ , выполняющий роль трансформатора сопротивления, а величина  $L_0$  выбирается из конструктивных соображений.

Длина антенны обычно выбирается в пределах  $\frac{L_{\text{об}}}{\lambda} \leq 4 \dots 8$ , поскольку дальнейшее увеличение размера  $L$  неэффективно из-за спада амплитудного распределения за счет потерь на излучение и нагрев диэлектрика, что приводит к снижению КНД. Выражение для КНД стержневого облучателя имеет вид

$$G_{\text{об}} \approx (4 - 7) \frac{L_{\text{об}}}{\lambda}. \quad (18)$$

**Пример расчета характеристик двухзеркальной антенны с матричным облучателем.** В качестве примера анализируются два случая размещения на борту ЛА двухзеркальной антенны: антенна диаметром рефлектора  $d_a = 300$  мм на длине волны  $\lambda = 8,6$  мм и антенна диаметром  $d_a = 150$  мм на длине волны  $\lambda = 3,2$  мм.

Задаваясь углом  $\psi_0 = 60^\circ - 80^\circ$  из соотношения (3) находится фокусное расстояние рефлектора  $f$ . Из соотношения (1) для величины эксцентриситета  $e = 2$  находится угол  $\varphi_0$ . Далее по формуле (7) при величине  $\frac{2b}{f} = 0,65$  находим величину  $\frac{L}{d_a}$ ,  $L$ , далее

величину  $b$  и при  $e = 2$  находим величину  $F$ . Далее необходимо проверить выполнение условия (4). Для расчета КНД по формулам (9) и (10) находим значение КИП из-за затенения рефлектора субрефлектором  $\vartheta$ .

**Расчет характеристик матричного облучателя.** В соответствии с формулой (15) для различных значений продольных размеров облучателя  $L_{\text{об}}/\lambda$  строим ДН облучателя. Находим ширину ДН по половинной мощности  $2\theta_{0,5}^0$  (на уровне 0,707) и оцениваем спадание мощности на краях субрефлектора при  $\varphi_0 = 30^\circ$ .

Далее задаемся величиной отношения  $d_1/\lambda = (0,7 - 0,9)$  при условии, что  $d_1$ , с одной стороны, не должно превышать размеры широкой стороны (или диаметра) стандартного волновода на данной длине волны. С другой стороны, при малом значении  $d_1/\lambda \leq 0,5$  отношение  $L_{\text{об}}/\lambda \rightarrow 1$  и диэлектрический штыревой облучатель теряет свои направленные свойства (недопустимо расширяется ДН, наблюдается слабое спадание мощности на краях субрефлектора).

Далее по формуле (16) находим значение диэлектрической проницаемости материала штыревого облучателя  $\varepsilon$ . Для  $d_1/\lambda \rightarrow 1$  справедлива формула (13). В итоге по формуле (14) по известной  $\varepsilon$  нахо-

дим величину отношения  $L_{об}/\lambda$ . Соотнесим полученное отношение с аналогичным, для которого построена оптимальная ДН облучателя. Принимаем ближайшее (в сторону увеличения) целое значение отношения  $L_{об}/\lambda$ .

Результаты расчета характеристик двухзеркальной антенны с матричным облучателем сведены в табл. 1.

Таблица 1  
Расчет характеристик двухзеркальной антенны с матричным облучателем

Задано		Формула
$\lambda = 8,6 \text{ мм}$	$\lambda = 3,2 \text{ мм}$	
Вычислить при заданном $\psi_0 = 80^\circ$		
$f = 89,4 \text{ мм}$	$f = 44,7 \text{ мм}$	(3)
Вычислить при заданном $e = 2$		
$\varphi_0 \approx 30^\circ$		(6)
Вычислить при заданном $2b/f = 0,65$		
$L/d_a = 0,2$		(7)
$L = 60,9 \text{ мм}$	$L = 30,5 \text{ мм}$	
$2b = 58,1 \text{ мм}$	$2b = 20 \text{ мм}$	
$F = 43,6 \text{ мм}$	$F = 15 \text{ мм}$	
Проверить соответствие $L \geq (6-8)\lambda$		
$\chi_T = 0,081$		(9)
$\vartheta = 0,845$		(10)
$G = 7,1 \times 10^3$	$G = 1,3 \times 10^4$	(8)
Расчет характеристик облучателя		
Построить график для ДН облучателя для $L_{об}/\lambda = (2...4)$		(15) (рис. 4)
Определить ширину ДН по уровню половинной мощности $2\theta_{0,5}^0 = 30^\circ; 2\theta_{0,5}^0 = 36^\circ; 2\theta_{0,5}^0 = 44^\circ$		
Определить $F_4(\theta = 30^\circ) = 0,054, \Leftrightarrow 12,7 \text{ дБ},$ $F_4(\theta = 30^\circ) = 0,165, \Leftrightarrow 7,8 \text{ дБ},$ $F_4(\theta = 30^\circ) = 0,431, \Leftrightarrow 3,65 \text{ дБ}$		(15), (рис. 4)
Задать $d_1/\lambda = 0,8$		
Вычислить $\varepsilon = 1,497$		(16)
Вычислить $\xi = 1,224$		(13)
Вычислить $L_{об}/\lambda = 2,232$		(14)
Согласовать с графиком для ДН и задать $L_{об}/\lambda = 3$		
Вычислить $L_{об} = 25,8 \text{ мм}$	Вычислить $L_{об} = 9,6 \text{ мм}$	
$(f - 2b) \gg L_{об}$ , площадь вырезки в рефлекторе регламентируется размерами матрицы питающих волноводов		
$d_1 = 6,88; d_2 = 4,48$	$d_1 = 2,56; d_2 = 1,66$	
Вычислить $G = 20$		(18)

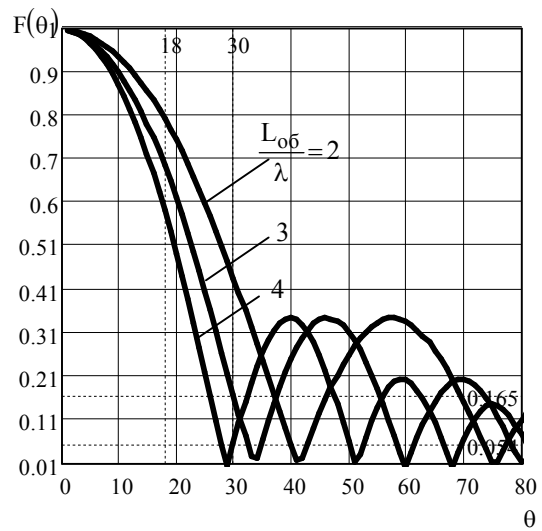


Рис. 4. Диаграмма направленности одиночного диэлектрического стержневого облучателя

## Выводы

Таким образом, разработанная методика позволяет производить расчет основных параметров двухзеркальной антенны с матричным облучателем. Результаты расчетов по данной методике могут явиться основой при создании подобной антенны в миллиметровом диапазоне волн.

## Список литературы

1. Системы формирования изображений в фокальной плоскости в миллиметровом диапазоне длин волн / П.Ф. Голдмис и др. // ТИИЭР. – 1993. – Т. 41, № 10. – С. 1-24.
2. Passive multichannels millimeter-waves imaging system / V.P. Gorishniak, A.G. Denisov, S.E. Kuzmin, V.N. Radzikhovsry, B.M. Shevchuk // The Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, millimeter and Submillimeter Waves. Symposium Proceedings. – V. 1. – Kharkov, Ukraine, June 21-26, 2004. – P. 202-204.
3. Радзиховский В.Н., Горшуняк В.Н., Кузьмин С.Е., Шевчук Б.М. Многоканальная радиометрическая система формирования изображений 8 мм диапазона волн // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1999. – Т. 42, № 4. – С. 37-41.
4. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Макаренко Б.И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов по наземным ориентирам // Арсенал XXI сторіччя. – 2002. – № 1. – С. 37-41.
5. Фельд Я.Н., Бененсон Л.С. Антенно-фидерные устройства. Ч. 2. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1959. – 551 с.
6. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Соврадио, 1974. – 340 с.
7. Мотлохов В.В. Антенные устройства. Ч.1. Линейные и апертурные антенны. – МО СССР, 1982. – 417 с.
8. Уолтер Л.Х. Антенны бегущей волны: Пер с англ. / Под ред. А.Ф. Чаплина. – М.: Энергия. – 1970. – 448 с.
9. Гребенников С.Н. Расширяющиеся щелевые антенны осевого излучения на диэлектрических подложках // Радиотехника СВЧ. – 1986. – № 40. – С. 1-81.

10. Быков В.Н., Поштаренко В.М., Овсянников Ю.В., Тимофеев В.Г. Решетка облучателей многолучевой антенны для систем получения изображения в миллиметровом диапазоне волн // *Радиотехника: респ. межвед. научн.-техн. сб. – Х.: Основа. – 1993. – Вып. 98. – С. 62-67.*

*Поступила в редколлегию 2.03.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И.Кожедуба, Харьков.