

УДК 621.396

*В. Н. БЫКОВ*, канд. техн. наук, *В. М. ПОШТАРЕНКО*, канд. техн. наук,  
*Ю. В. ОВСЯННИКОВ*, *В. Г. ТИМОФЕЕВ*

**РЕШЕТКА ОБЛУЧАТЕЛЕЙ МНОГОЛУЧЕВОЙ АНТЕННЫ  
ДЛЯ СИСТЕМ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН**

---

Системы получения изображения широко используются при дистанционном зондировании, географической ориентации летательных аппаратов, в картографировании и т. д. Одним из направлений повышения эффективности данных систем является применение прямого метода радиовидения на основе многолучевых антенн. Можно выделить два больших класса многолучевых антенн (МА): апертурные и фазированные решетки. В настоящее время уровень развития элементной базы миллиметрового диапазона (ММД) позволяет сравнительно легко реализовать апертурные МА благодаря использованию антенн оптического типа — линзовых или зеркальных. Узким местом в создании таких антенн со значительным числом лучей и высоким угловым разрешением остается схемная и конструктивно-технологическая сложность решетки облучателей, обеспечивающей ортогональность и требуемый уровень пересечения формируемых диаграмм [1]. Определим требования к конструктивным параметрам элементов решетки.

Известно, что угловое разрешение антенн оптического типа можно определить пользуясь критерием Рэлея, который устанавливает рас-

стояние между изображениями двух источников в фокальной плоскости. Это расстояние находится из выражения [2]:

$$\delta_R = 1,21967 \cdot \lambda \cdot (F/D), \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны;  $F$  — фокусное расстояние линзы (зеркала);  $D$  — диаметр линзы.

В радианной мере величина  $\delta_R$  приближается к ширине диаграммы направленности (ДН) на уровне половинной мощности. Другими словами, расположение облучателей на рэлеевском расстоянии обеспечивает пересечение ДН многолучевой антенны на уровне половинной мощности.

Отношение  $F/D$  в выражении (1) является конструктивным параметром МА и характеризует ее как оптическую систему. Максимальное количество лучей, формируемых МА, связано с данным параметром выражением

$$n_{\max} = \frac{2\alpha}{2\theta_{0,5}} = 0,44 + 22(F/D)^2, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — угол предельного отклонения от оптической оси;  $2\theta_{0,5} = 1,2(\lambda/D)$  — ширина ДН одиночного облучателя решетки на уровне половинной мощности.

Исследования [2] показывают, что для МА параметр  $F/D$  целесообразно выбирать близким к единице. При этом максимум эффективности антенной системы имеет место в случае снижения мощности излучателя в направлении на край фокусирующего элемента ( $\Psi = \Psi_0$ ) на 10 дБ. Угол  $2\Psi_0 = 4 \arctg [4(F/D)]^{-1}$  представляет собой угол раскрытия апертуры.

Из анализа приведенных требований и условий ортогональности формируемых ДН многолучевой антенны следует, что облучатели решетки должны формировать симметричные в плоскостях  $H$  и  $E$  ДН с низким уровнем боковых лепестков при расстоянии между фазовыми центрами облучателей близким к рэлеевскому  $\delta_R = 1,21967 \lambda$ .

В качестве обобщенного критерия оценки конструктивных параметров решетки облучателей используем плотность упаковки [3]:

$$c = \frac{\delta_R}{\Delta x}, \quad (3)$$

где  $\Delta x = 1,2n(F/D)K_d \cdot \lambda_0$  — значение дискретизации решетки;  $K_d$  — фактор девиации луча, примерно равный 0,95 при  $F/D = 1$ ;  $n$  — число лучей;  $\lambda_0$  — длина волны электромагнитного поля.

Из существующих типов антенн наиболее близко удовлетворить рассмотренным выше требованиям могут антенны бегущей волны осевого излучения, имеющие наименьшие размеры апертуры в направлении излучения. В ММД известны щелевые антенны осевого излучения, представляющие собой различные по форме прорези в металлизированном покрытии, нанесенном на диэлектрическую подложку и диэлектрические стержневые антенны,

Щелевые антенны, характеризующиеся осесимметричной ДН с относительно высоким усилением и интегральной технологией изготовления, в настоящее время находят применение при создании одномерных и двумерных решеток облучателей в составе системы получения изображения [4]. Однако высокий уровень боковых лепестков влечет значительные энергетические потери

многолучевой антенны при реализации матрицы облучателей на основе данных антенн.

Вместе с тем известно, что суживающиеся стержневые антенны обладают меньшим уровнем боковых лепестков в сравнении со щелевыми. Поэтому представлялось целесообразным провести исследование характеристик суживающихся диэлектрических антенн с прямоугольным сечением стержня и решетки облучателей на их основе.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены три типа суживающихся

диэлектрических антенн, представленных на рис. 1. В общем случае антенны данного типа имеют следующие участки:  $L_f$  — участок согласования с волноводом;  $L_w$  — участок возбуждения поверхностной волны;  $L_p$  — участок формирования ДН;  $L_e$  — участок оконечного сужения. В качестве материала использовался фторопласт-4. Для сравнительной оценки результатов эксперимента на волновод типа МЭК-320 был изготовлен оптимальный рупор.

Определение характеристик ДН осуществлялось радиометрическим методом. В качестве источника сигнала использовались солнечные лучи. Полученные результаты для антенн с относительным удлинением, равным  $10L/\lambda_0$ , представлены в табл. 1.

Таблица 1

Тип антенны	G, дБ	УБЛ <sub>н</sub> , дБ	$2\theta_{0,5} \dots^\circ$	
			плоскость H	E
Сужающаяся в плоскости E	20,3	-15,8	24	28
Сужающаяся в обеих плоскостях	19,7	-14,2	29	30
Максимального усиления	21,5	-5,5	16	18
Оптимальный рупор	18,8	-17,1	31	34

Из анализа полученных результатов следует, что антенна, суживающаяся в обеих плоскостях, характеризуется максимальной ортогональностью ДН и высоким коэффициентом усиления. Антенна, суживающаяся в плоскости  $E$ , обладает наименьшим уровнем боковых лепестков, высоким коэффициентом усиления и несимметричностью ДН. Для всех типов суживающихся штыревых антенн уровень боковых лепестков (УБЛ) выше в сравнении с оптимальным рупором.

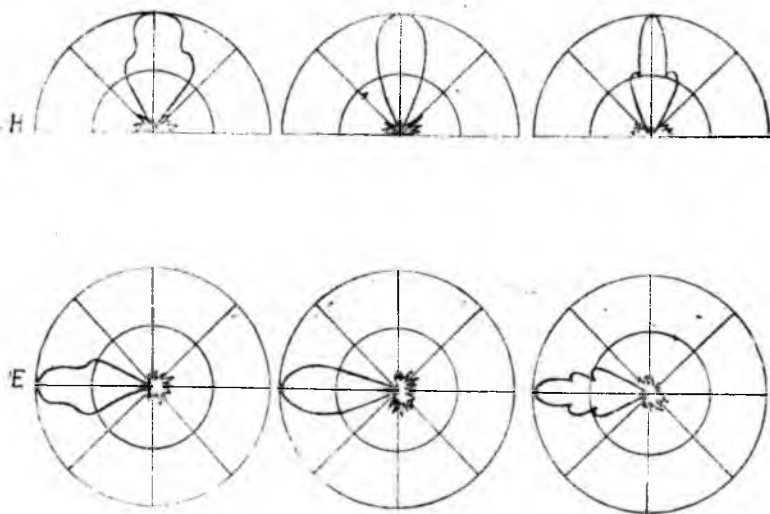


Рис. 2

С целью снижения дифракции на краю волновода предлагается использовать согласующий пирамидальный рупор. Параметры рупора выбирались таким образом, чтобы не искажалась форма ДН и незначительно снижалась плотность упаковки антенн в решетке. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2. На рис. 2 представлены формы ДН в  $H$  и  $E$  плоскостях антенн в порядке следования их в табл. 2. Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что для реализации

Таблица 2

Тип антенны	$G$ , дБ	УБЛ, дБ	$2\theta_{0,5}$	
			плоскость $H$	$E$
Сужающаяся в плоскости $E$	21,6	-24,3	24	28
Сужающаяся в обеих плоскостях	20,5	-23,7	29	30
Максимального усиления	22,1	-6,2	16	18

решетки облучателей целесообразно использовать диэлектрическую стержневую антенну, суживающуюся в обеих плоскостях.

Исследования влияния удлинения ( $L/\lambda_0$ ) антенны на параметры ДН показали, что с увеличением удлинения растут усиление и УБЛ, а ширина ДН уменьшается. При  $L/\lambda_0 > 10$  наблюдается быстрый рост УБЛ, поэтому представляется необходимым выбор  $L/\lambda_0$  в пределах 8—10.

В дальнейшем с использованием данного типа антенн была изготовлена решетка  $3 \times 3$  облучателей. При этом значение дискретизации решетки составило  $\Delta x = 13,5$  мм, что меньше рэлеевского расстояния ( $\delta_R = 14,01$ ) для  $\lambda_0 = 8,6$  мм. Конструктивно данная плотность для волноводов типа МЭК-320 была достигнута бла-

Е

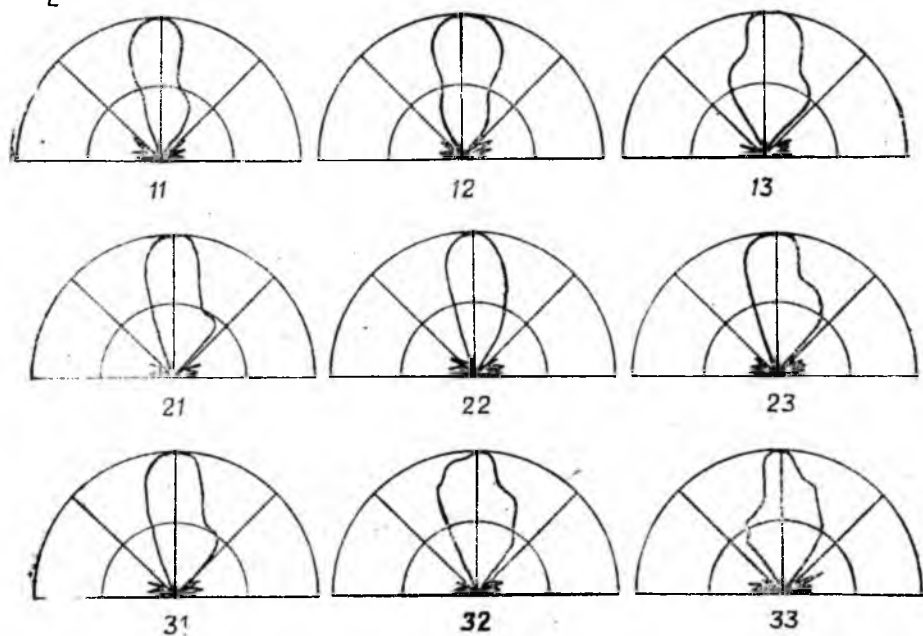


Рис. 3

годаря расположению контактных фланцев на различных расстояниях от рупоров.

Экспериментальные исследования выполнялись по методике, аналогичной для одиночной антенны. Исключение составляла лишь установка эквивалентов нагрузки для имитации многоканального радиометра. В ходе проведенных исследований были получены ДН в плоскости Е девяти облучателей, входящих в решетку (см. рис. 3). Анализ этих ДН показывает, что имеет место взаимное влияние облучателей, которое проявляется в расширении главного лепестка на уровне  $-10... -25$  дБ. Однако

на уровне  $-3$  дБ ширина ДН остается практически без изменений.

Полученные данные сравнивались с результатами исследований решетчатых щелевых антенн с постоянной шириной щели (ЩАПШ), приведенными в работе [4]. Итоги сравнения представлены в табл. 3. Можно отметить, что в составе решетки диаграмма направленности диэлектрической сужающейся стержневой антенны (ДССА) искажается существенно меньше, чем в случае ЩАПШ.

Таблица 3

Параметры ДН	ЩАПШ	ДССА
Уровень боковых лепестков, дБ	$-9-14$	$-17-1$
Расширение ДН в составе решетки (на уровне $-3$ дБ)	$10-13$	$1-2$
Снижение усиления в направлении главного максимума ДН, дБ	$0-2$	$0$

Проводилась так же сравнительная оценка различных типов облучателей по плотности упаковки (рис. 4). Сравнение проводилось для следующих облучателей: 1 — ЩАПШ, 2 — ДССА, 3 — ЩА с линейным расширением, 4 — ЩА типа «Вивальди», 5 — ДСА круглого сечения, 6 — пирамидальный рупор, 7 — круглый волновод, 8 — прямоугольный волновод. Из рисунка следует,

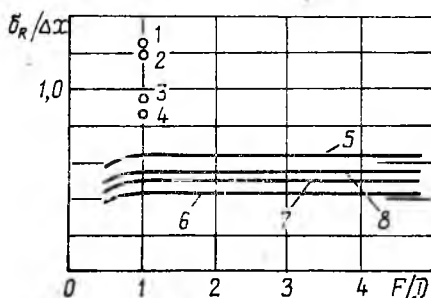


Рис. 4

что ДССА по данному параметру сравнимы с ЩАПШ. Однако реализация решетки с различной поляризацией отдельных облучателей, что целесообразно для систем формирования изображения, при достигнутой плотности упаковки возможна только с применением ДССА.

Список литературы: 1. Проблемы антенной техники / Под ред. Л. Д. Бахрака и Д. И. Воскресенского. М., 1989. 368 с. 2. Ingesson K. S. Imaging front-end systems for millimeter waves and submillimeter waves // SPIE. Instrumentation for submillimeter spectroscopy. 1985. Vol. 598, P. 104 — 113. 3. Rahmat-Samii. Realizable Feed-Element Patterns for Multibeam Reflector Antenna Analysis // IEEE Trans. 1981. AP-29, P. 961 — 963. 4. Yohansson Y. F. Model experiments with slot antenna arrays for imaging // SPIE Instrumentation for submillimeter spectroscopy. 1985. Vol. 598, P. 118 — 125.

Поступила в редколлегию 18.07.90.