

СПУТНИКОВАЯ АНТЕННА С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В.Д. Двуреченский, П.П. Телепнев, А.Ю. Федотов
(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Методом электродинамического моделирования обоснована возможность создания линейной антенной решётки с эллиптической поляризацией, способной совместно с однокоординатным опорно-поворотным устройством обеспечить эффективную работу высокоскоростной линии передачи целевой информации с борта КА «Метеор-МП».

Ключевые слова: антенная решётка, эллиптическая поляризация, космические аппарат.

Для обеспечения работы высокоскоростной линии передачи целевой информации (до 800 Мбит/с) с борта КА, находящегося на орбите высотой до 1000 км, необходимо иметь максимальный коэффициент усиления антенны КА не менее 18 дБ в диапазоне 8 ГГц.

При этом для КА «Метеор-МП» необходимо обеспечить приведённые в табл. 1 минимальные значения коэффициента усиления (КУ) антенны в зависимости от угла места α (угол отсчитывается от нормали поверхности КА).

Для решения этой задачи известны два способа построения антенно-фидерной системы:

- использование антенны эллиптической поляризации с осесимметричной диаграммой направленности (ДН) и с двухкоординатным (по углу места и азимуту) опорно-поворотным устройством (ОПУ);

- использование антенны эллиптической поляризации со специальной ДН в угломестной плоскости (значения ненормированной ДН совпадают со значениями, приведёнными в табл. 1) и однокоординатного (по азимуту) ОПУ.

Последний вариант предпочтительнее, так как значительно упрощает ОПУ и его управление.

В статье обоснована возможность создания линейной антенны с эллиптической поляризацией со специальной ДН в угломестной плоскости, излучающей в сантиметровом диапазоне длин волн.

Антенна представляет собой линейную антенную решётку (АР) из N излучателей в виде открытого конца волновода с квадратным сечением (рис. 1), излучающих эллиптическую электромагнитную волну.

Исследования проводились методом электродинамического моделирования с помощью пакета программ моделирования и расчёта антенн и СВЧ структур. Результаты расчётов представлены в виде графиков.

Исходные данные при электродинамическом моделировании были следующие: расчётная частота

Таблица 1

α , град	0	27,0	39,9	61,2	63,3	64,3	64,7
КУ, дБ	5,0	6,0	8,0	14,0	16,0	17,0	18,0

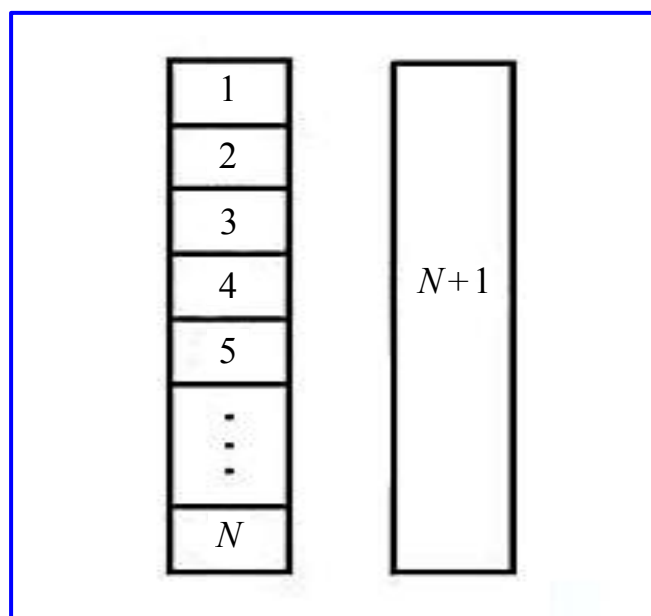


Рис. 1. Антенная решётка: 1, 2, ... N – излучатели с эллиптической поляризацией; N + 1 – линейный излучатель с синфазным распределением в раскрыве

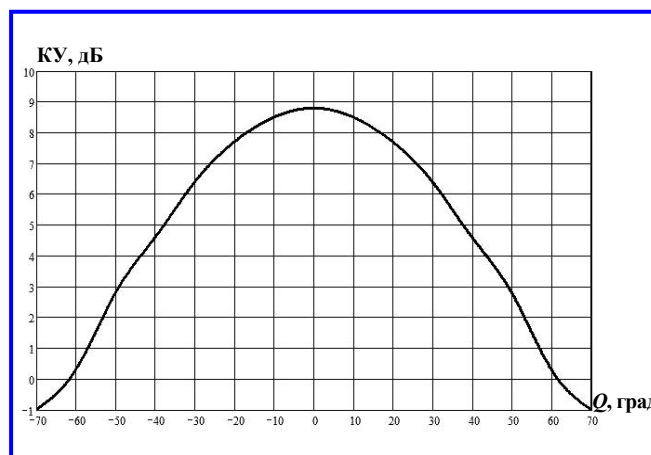


Рис. 2. Ненормированная ДН волноводного излучателя в H-плоскости

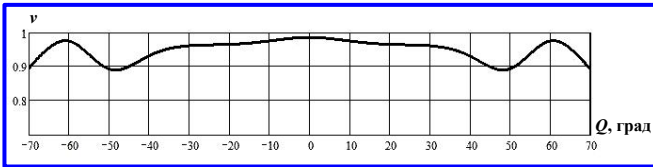


Рис. 3. Коэффициент эллиптичности ν излучателя

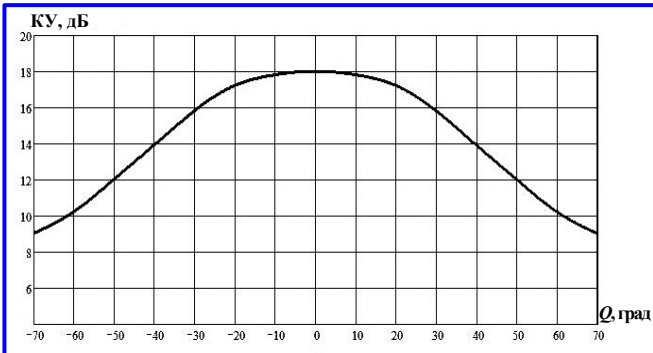


Рис. 4. ДН в поперечной плоскости АР

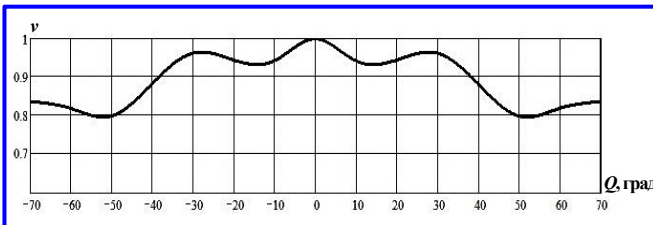


Рис. 5. Значение ν для четырнадцатиэлементной АР

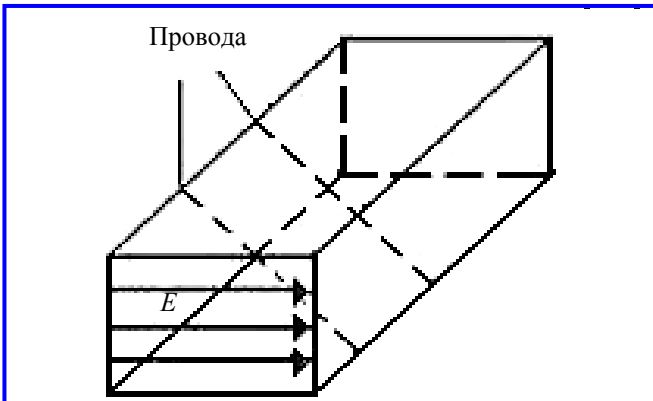


Рис. 6. Элемент АР

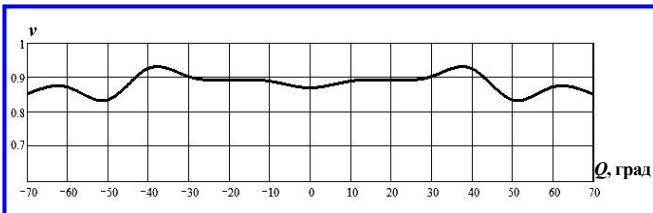


Рис. 7. Значения ν в зависимости от угла

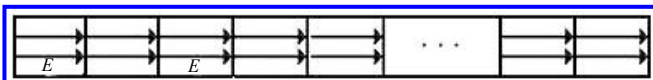


Рис. 8. Схема расчётной АР

$f = 8$ ГГц, сечение волноводного излучателя 25×25 мм².

Ненормированная ДН волноводного излучателя в H -плоскости представлена на рис. 2, коэффициент эллиптичности ν представлен на рис. 3.

Из рис. 2 видно, что при изменении угла θ от 0° до $\pm 70^\circ$ ДН излучателя изменяется от 8,8 до -1 дБ, т. е. разница не превышает 10 дБ.

Из рис. 3 видно, что в секторе углов θ от -70° до 70° коэффициент эллиптичности излучаемого электромагнитного поля с вращающейся поляризацией больше 0,89.

Для увеличения коэффициента направленного действия (КНД) антенны волноводные излучатели объединяются в линейную АР из N излучателей, как показано на рис. 1. При этом, чем больше N , тем больше КНД АР. Для примера на рис. 4, 5 представлены параметры ДН в поперечной плоскости АР и значение Q для четырнадцатиэлементной АР.

Из рисунков следует, что в секторе $(-70^\circ, 70^\circ)$ ДН АР изменяется от 18 до 9 дБ, а коэффициент эллиптичности $\nu \leq 0,79$. Снижение значения ν можно объяснить взаимным влиянием между излучателями в АР.

Для практической реализации линии питания применяется волновод, в котором распространяется волна H_{01} с линейной поляризацией E . Для преобразования линейно поляризованной волны в эллиптическую волну необходимо использовать поляризатор, например, поляризатор Фокса [1], состоящий из двух проводов диаметром $2a$, которые расположены по диагонали волновода квадратного сечения на расстоянии $0,375\lambda_v$ друг от друга (где λ_v – длина волны в волноводе, соответствующая частоте $f = 8$ ГГц), как показано на рис. 6.

Согласно рис. 6 провода расположены под углом 45° к вектору электрического поля E в волноводе. На рис. 7 представлены значения ν в зависимости от угла, откуда следует, что поляризатор Фокса обеспечивает излучение из открытого конца волновода с квадратным сечением волны с эллиптической поляризацией с $\nu \geq 0,83$ в секторе $(-70^\circ, 70^\circ)$ углов θ .

Из таких излучающих элементов была образована четырнадцатиэлементная линейная АР при расположении излучающих элементов вплотную друг к другу, возбуждаемой линейным излучателем с синфазным амплитудным распределением (рис. 8).

При практической реализации линейного излучателя может быть использован ряд известных антенн: рупора, зеркальные антенны, антенны вытекающей волны и др., в зависимости от допустимых габаритных размеров антенны [2, 3].

На рис. 9 показана модель АР, состоящая из плоского преобразователя 1 электромагнитного поля в открытом конце волновода 2 сечением $25 \times 25 \text{ мм}^2$ в синфазное электромагнитное поле в раскрыве размером $25 \times 500 \text{ мм}^2$ с помощью ленточной вырезки 3 из параболического зеркала при совмещении фазового центра открытого конца волновода с фокусом зеркала. К раскрыву линейного излучателя присоединена АР 4.

Ненормированные ДН этой АР в плоскости ZOY и в плоскости ZOX антенны приведены на рис. 10, 11 соответственно (угол отсчитывается от оси OZ). На рис. 12 представлены значения коэффициента эллиптичности в плоскости ZOX .

Из рис. 11, 12 видно, что КНД антенны изменяется от 18,3 дБ при $\theta = 0^\circ$ до 9,0 дБ при $\theta = \pm 70^\circ$, при этом коэффициент эллиптичности ν превосходит 0,78 в секторе углов $(-70^\circ, 70^\circ)$ в плоскости ZOX .

Как следует из представленных ДН, при установке антенны, так чтобы ось Z антенны была направлена под углом $64,7^\circ$ относительно нормали к поверхности КА, а ось X антенны пересекала эту нормаль, значения ДН в зависимости от α будут удовлетворять табл. 1.

Представленные выше расчётные данные подтверждают возможность создания эффективных линейных антенн с эллиптической поляризацией, которые могут быть совместно с

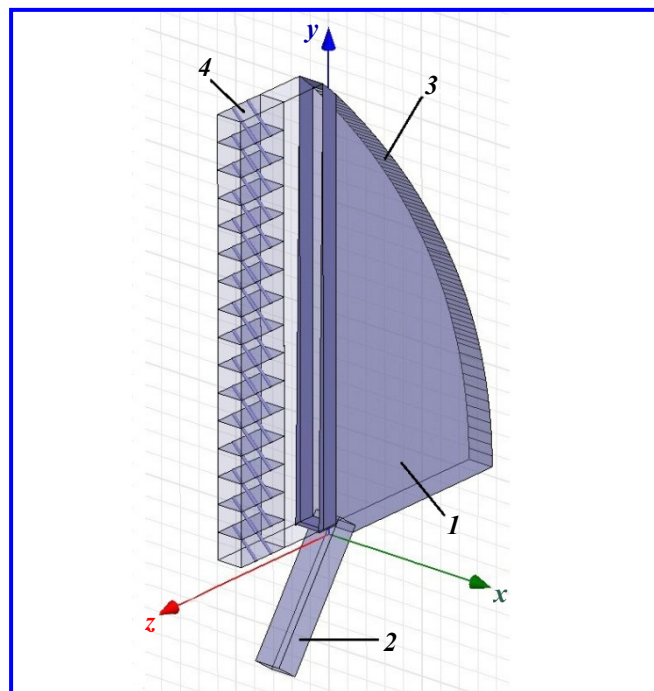
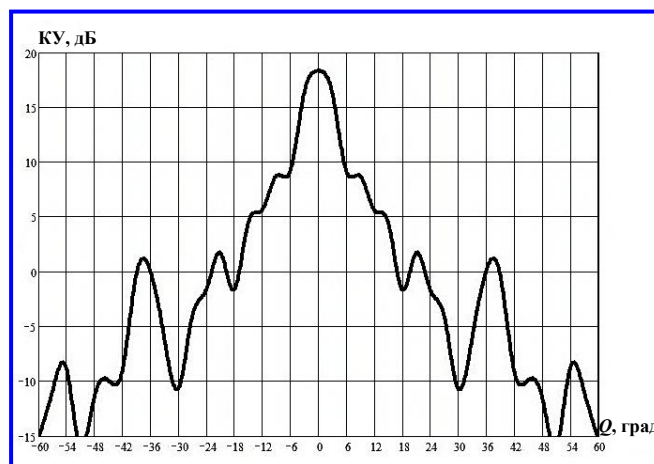
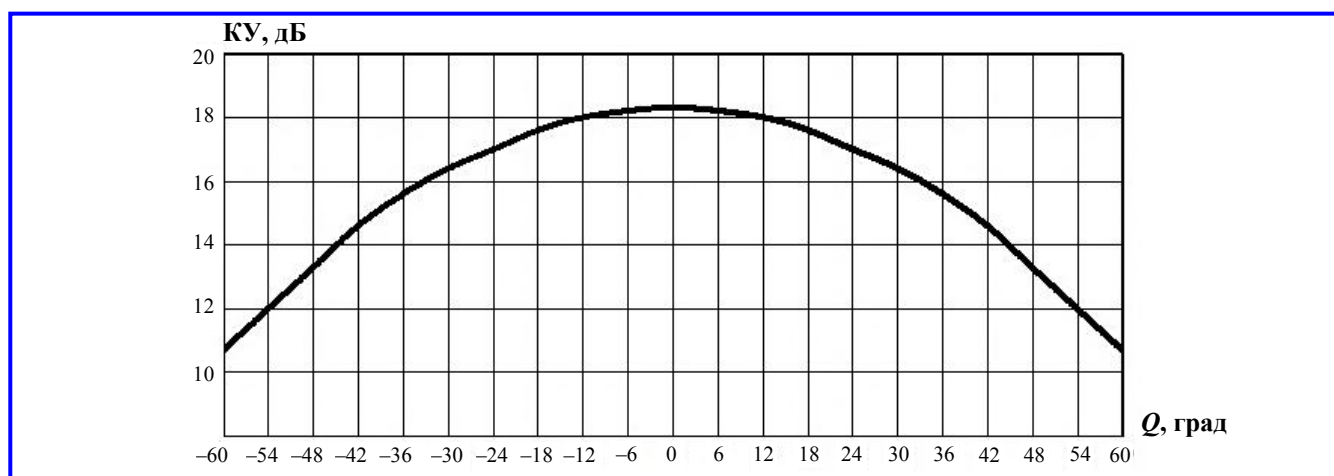


Рис. 9. Электродинамическая модель АР

Рис. 10. ДН АР в плоскости ZOY Рис. 11. ДН АР в плоскости ZOX

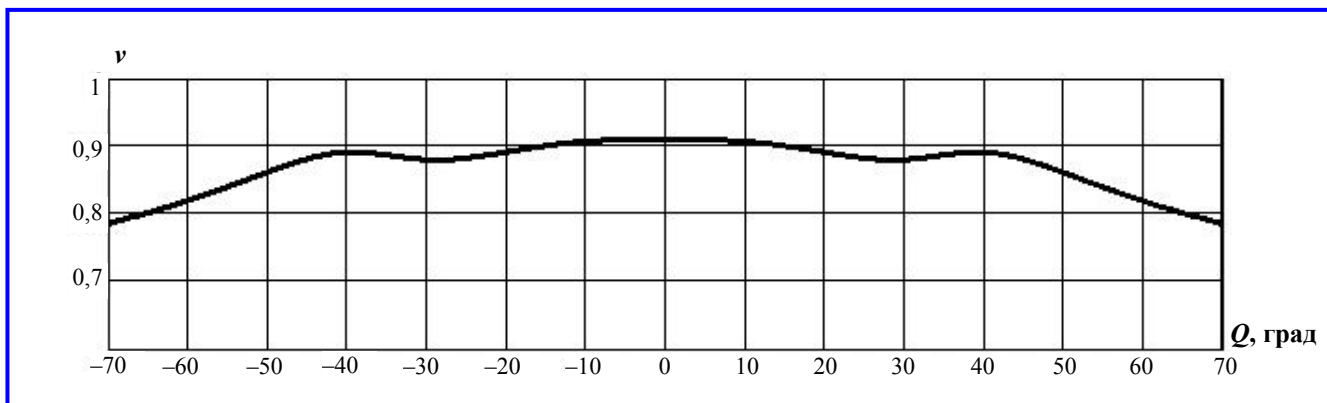


Рис. 12. Коэффициент эллиптичности ν в плоскости ZOX

однокоординатными (по азимуту) ОПУ используются в спутниковых радиосистемах передачи информации.

Литература

1. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот. Том 1 / А. Ф. Харвей. – М. : Советское радио, 1965. – 392 с.

2. Антенно-фидерные устройства / А. Л. Дробкин, В. Л. Зузенко, А. Г. Кислов. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Советское радио, 1974. – 536 с.

3. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев [и др.]. – 3-е изд. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 491 с. : ил.

Поступила в редакцию 09.07.2013

Виктор Дмитриевич Двуреченский, д-р техн. наук, ведущий научн. сотрудник.

Павел Петрович Теленев, аспирант, мл. научн. сотрудник.

Александр Юрьевич Федотов, д-р техн. наук, начальник лаборатории.

E-mail: vniiet@vniiet.ru.

T. (495) 366-27-55.