

АНТЕННА БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СМ-ДИАПАЗОНА ВОЛН КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.Д. Двуреченский, А.Ю. Федотов

П.П. Телепнев

(ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Методами электродинамического моделирования обоснована возможность создания для бортовых информационных систем СМ-диапазона волн низколетящих космических аппаратов двухзеркальных антенн, которые преобразуют диаграмму направленности (ДН) излучателя в виде открытого конца круглого волновода в ДН специальной формы. Представлены результаты такого моделирования.

Ключевые слова: двухзеркальная антенна, космический аппарат, бортовая информационная система, СМ-диапазон.

В бортовых информационных системах СМ-диапазона волн низколетящих космических аппаратов (КА) используются двухзеркальные антенны, которые преобразуют диаграмму направленности (ДН) излучателя в виде открытого конца круглого волновода в ДН специальной формы, показанные на рис. 1 [1, 2]. ДН специальной формы имеет максимум при углах близких к $\pm 65^\circ$, а минимум не должен быть меньше -11 дБ (0,3).

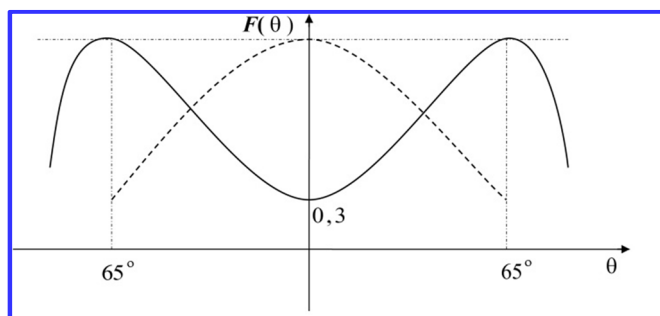


Рис. 1. Нормированная диаграмма направленности излучателя в виде открытого конца круглого волновода (пунктирная линия), диаграмма направленности специальной формы (сплошная линия)

Антенна КА состоит (рис. 2) из круглого волновода 1, расположенного над ним круглого диска 2 и осесимметричного отражателя 3, состоящего из двух, соосно расположенных с круглым волноводом металлических усечённых конусов высотой h_n и углом при нижнем основании α_n , где n – номер конуса, отсчитываемый сверху. Открытый конец круглого волновода излучает электромагнитную волну вращающейся поляризаацией с коэффициентом эллиптичности $\geq 0,8$. На рис. 3 и 4 представлены расчётные ДН такой антенны и значения отношения уровня электрической составляющей электромагнитной волны с паразитной эллиптической поляризаацией к уровню электрической составляющей электромагнитной волны с полезной эллиптической поляризаацией η на частоте $f=8,2$ ГГц, следующих габаритных размеров:

$D=300$ мм, $d=70$ мм, $H=21$ мм, $h=54$ мм, в четырёх поперечных плоскостях.

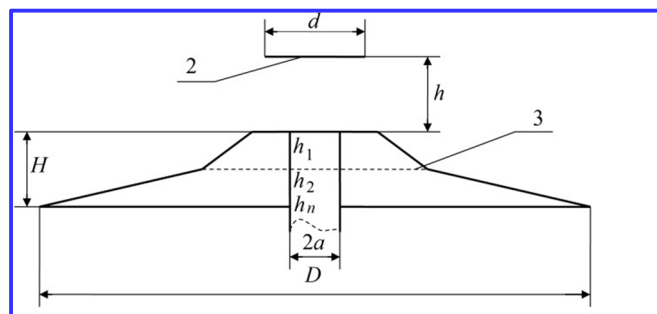


Рис. 2. Эскиз предлагаемой антенны

Определить коэффициент эллиптичности v в зависимости от соотношения η можно по следующей формуле $v=th(-\eta/17,37)$. Как следует из рис. 3 максимальное значение ДН не менее (5,8 – 6,5) дБ при $\theta=63^\circ$. Минимальное значение коэффициента усиления G равно -1 дБ, т. е. разность между максимумом и минимумом G не превосходит 7,5 дБ, что меньше 10 дБ, допустимого требованиями для G бортовых антенн КА.

В соответствии с рис. 4 максимальное значение отношения $\eta=-1$ дБ при $\theta=18^\circ$ коэффициент эллиптичности $v=0,06$ в этой точке, что недостаточно для устойчивой работы информационных систем КА.

В создаваемых в последнее время ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» КА предполагается использовать двухзеркальные антенны, поэтому целесообразно провести оптимизацию габаритных размеров и электрических характеристик таких антенн.

В статье представлены результаты проведённой методом электродинамического моделирования такой оптимизации, для которой исходные данные определялись из законов геометрической оптики, приблизительно описывающих физическую суть работы зеркальных антенн.

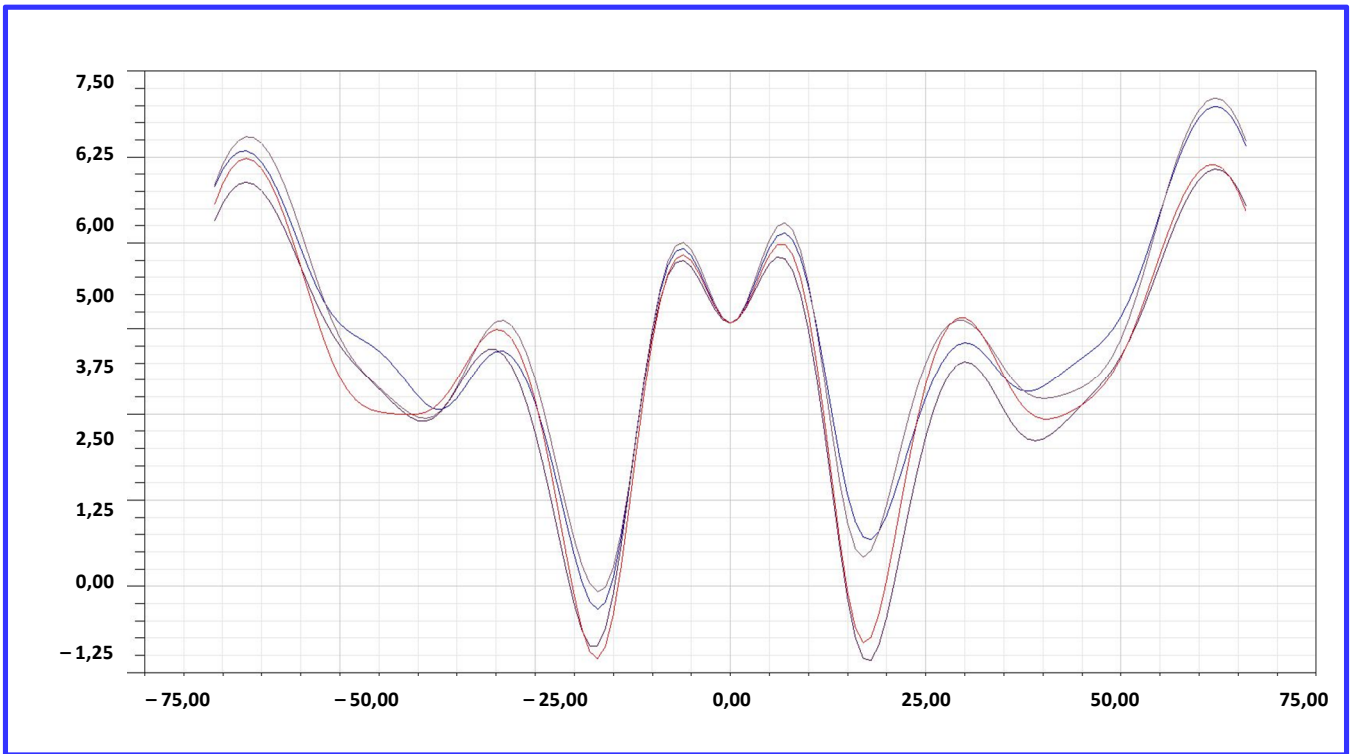


Рис. 3. Диаграмма направленности антенны

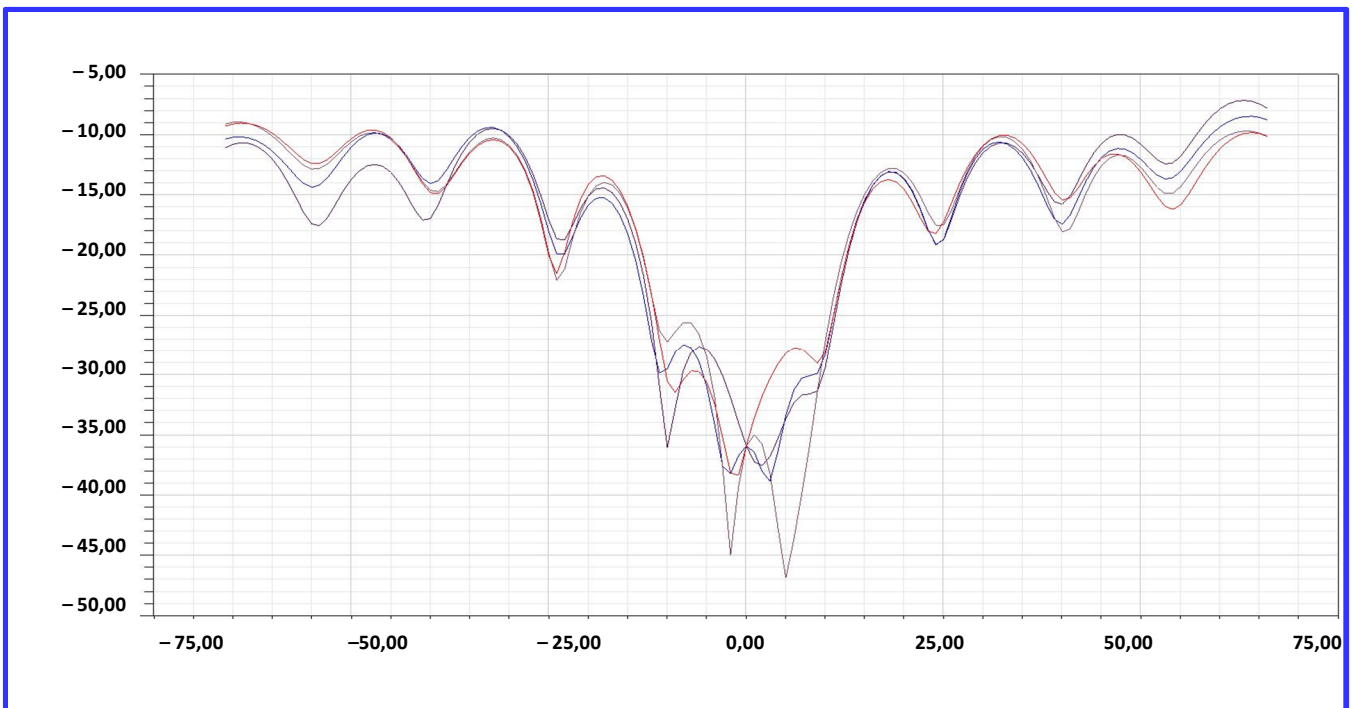


Рис. 4. Зависимость η от θ

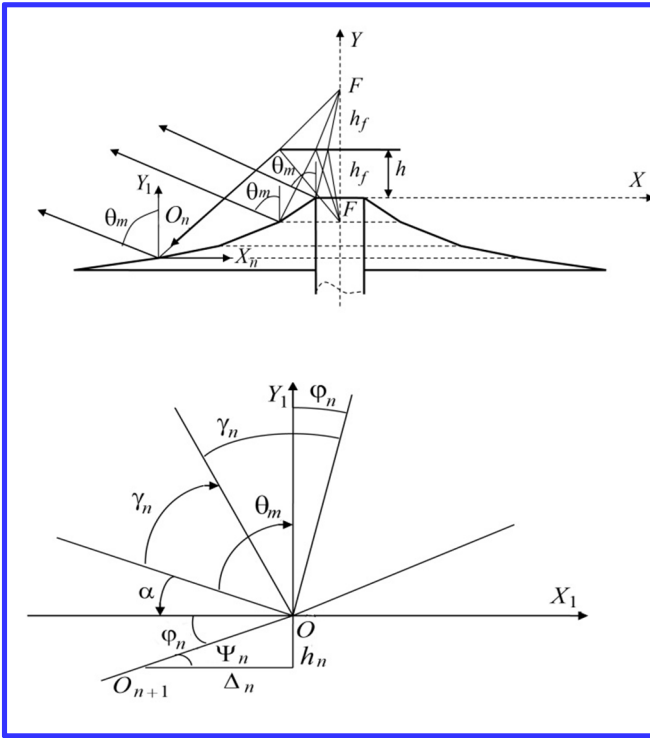


Рис. 5. Схематическое изображение хода лучей применительно к модели антенны

В рассматриваемом случае, в соответствии с законами геометрической оптики, антенна представляется расположенным в фазовом центре (точка F) излучателем, в виде открытого конца круглого волновода, точечного источника сферической электромагнитной волны, лучи от которого падают на круглое зеркало (диск) и отразившись от него, направляются на конический отражатель, преобразующих их в лучи в секторе углов θ_m , близких к 65° (рис. 5). На рис. 5 приняты следующие обозначения: F – точка фазового центра открытого конца круглого волновода; h_f – расстояние от точки F до диска; d – диаметр диска; h – расстояние от конца волновода до диска; Y_n – угол между нормалью и лучом, исходящим из точки F (виртуального точечного источника электромагнитных волн) и направленным в точку O_n стыковки $(n - 1)$ и n усечённых конусов. При переходе от точки O_n к точке O_{n+1} радиус нижнего основания конуса R_n увеличивается на Δ_n . Из рис. 5 следует, что

$$\Delta_n = h_n \text{ctg}(\Psi_n),$$

где $\Psi_n = 90^\circ - \gamma_n - \alpha$, $\gamma_n = \theta_m + \phi_n$, $\alpha = 90^\circ - \theta_m$;

$$\Psi_n = \frac{\theta_m - \phi_n}{2};$$

$$\phi_n = \arctg \frac{R_n}{h_f + h + h_1 + \dots + h_n}.$$

Значения радиуса волновода a и высоты расположения диска h определяются из условия дальней зоны облучателя в виде открытого конца волновода $h \geq 8a^2/\lambda$, где λ – длина волны. Диаметр диска d выбирается из условия, что он меньше диаметра первой зоны Френеля излучателя $d \leq 2\sqrt{\lambda h_f}$, $h_f = h + 0,15\lambda$. Также желательно, чтобы диск отражал большую часть энергии, излученной открытым концом круглого волновода: $d \leq 2h_f \text{tg}(\Delta\theta)$, где $2\Delta\theta$ – ширина ДН излучателя по нулевому уровню.

На основании вышеизложенных соображений предлагается следующий порядок определения исходных данных для электродинамического моделирования двухзеркальных антенн информационных систем СМ-диапазона волн низколежущих КА:

- выбирается диаметр круглого волновода $2a$;
- определяется ширина ДН по нулевому уровню излучателя в виде открытого конца круглого волновода $2\Delta\theta$;
- рассчитывается радиус дальней зоны излучателя $(1 - 2)(2a)^2/\lambda$ и выбирается расстояние до диска $h \geq \lambda$;
- устанавливается величина d – диаметр диска: $d \leq 2\sqrt{\lambda h_f}$, где $h_f = h + 0,15\lambda$;
- задаётся шаг Δh изменения $h_n = n \Delta h$ при $n=0,1,\dots$.

Для определения минимального значения γ_n , при котором антенна имеет требуемую ДН, проводится расчёт ДН после каждого изменения n .

По предлагаемой методике было проведено электродинамическое моделирование антенны на частоте 8,2 ГГц ($n_m=4$, $D=228$ мм, $d=66$ мм, $H=32$ мм, $h=59$ мм). На рис. 6 и 7 представлена ДН антенны и значения отношения уровня электрической составляющей электромагнитной волны с паразитной эллиптической поляризацией к уровню электрической составляющей электромагнитной волны с полезной эллиптической поляризацией. Из рис. 6 и 7 следует, что максимумы ДН направлены под углом 63° , а коэффициент эллиптичности в рабочем секторе углов не менее 0,35. В результате диаметр D отражателя удалось уменьшить до 228 мм, что значительно меньше габаритных размеров аналогичных антенн КА «Метеор-М» № 1 и № 2.

По предлагаемой методике был рассчитан и изготовлен макет антенны X-диапазона. Результаты измерений электрических характеристик макета подтвердили правильность исходных предположений.

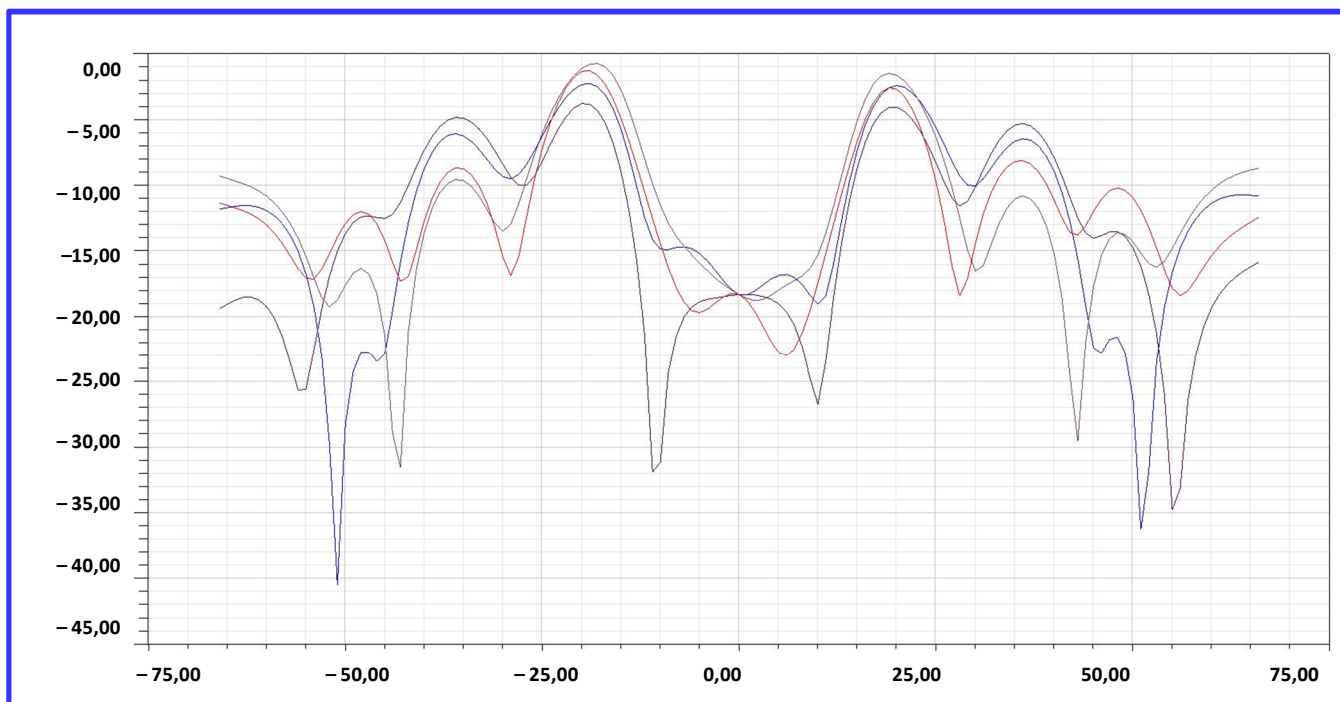


Рис. 6. Диаграмма направленности антенны

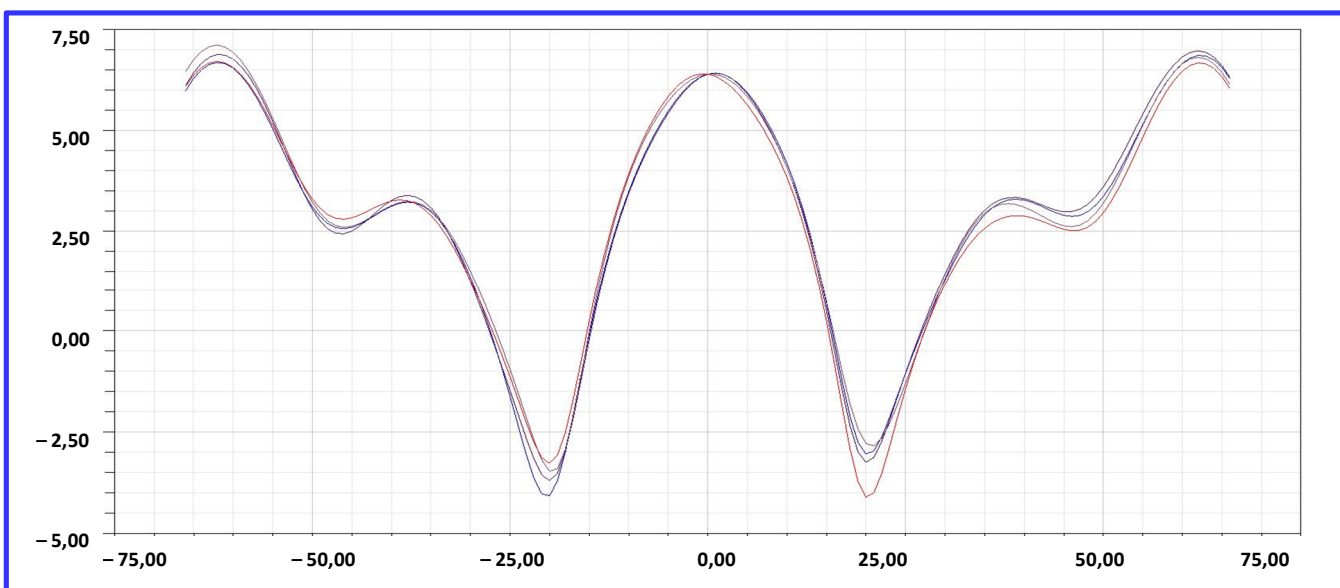


Рис. 7. Зависимость η от θ

Методику можно использовать при разработке антенны бортовой информационной системы СМ-диапазона волн космических аппаратов.

Литература

1. Давыдов А. Г. Синтез схемы бортовой зеркальной антенны с диаграммой направленности специальной формы / А. Г. Давыдов / Антенны. – 2004. – № 2. – С. 26 – 30.

2. Микроволновые устройства телекоммуникационных систем / М. З. Згуровский, М. Е. Ильченко, С. А. Кравчук и др. В 2 т. – К.: ИВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. – Т. 1. Распространение радиоволн. Антенные и частотно-избирательные устройства. – 465 с.: ил.

Поступила в редакцию 01.07.2014

Виктор Дмитриевич Двуреченский, д-р техн. наук, вед. научн. сотрудник,
Александр Юрьевич Федотов, д-р техн. наук, начальник лаборатории,
Павел Петрович Теленев, мл. научн. сотрудник. E-mail: vniem@vniem.ru, т. (495) 366-27-55.