

Математические модели и экспериментальные исследования антенн бортовой аппаратуры системы видеоконтроля КА и РБ

Д.С. Клюев¹, С.Б. Филиппов², А.С. Мальцев², В.А. Неганов¹

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

² АО «РКЦ «Прогресс»
443009, Российская Федерация, г. Самара
ул. Земеца, 18

Статья посвящена построению математических моделей и экспериментальной отработки электрических характеристик антенн бортовой аппаратуры видеоконтроля космических аппаратов и разгонных блоков. Построение математических моделей осуществляется в HFSS на основе интегральных представлений электромагнитного поля. Рассмотрен вопрос оптимизации между размерами антенны и необходимой диаграммой направленности в дециметровом L-диапазоне волн. Приведены результаты численного моделирования и экспериментальные данные для двух образцов антенн.

Ключевые слова: радиолиния, антенно-фидерное устройство, математическая модель, коническая логоспиральная антенна, интегральное представление электромагнитного поля, электродинамические характеристики, диаграмма направленности.

Аппаратура видеоконтроля предназначена для сбора, обработки и передачи на наземные пункты контроля и управления видеоинформации о процессах, происходящих на ракетеносителе (РН), космическом аппарате (КА) и разгонном блоке (РБ) на этапах их подготовки к старту и всех этапах полета. Бортовая аппаратура системы видеоконтроля (БА СВК) задумана как самостоятельный модуль, обеспечивающий пользователю возможность осуществлять, так называемое «интерактивное наблюдение», при отделении составных частей РН, а так же космических аппаратов от РН или РБ. Одной из важных задач при разработке БА СВК космических аппаратов и разгонных блоков является построение надежного канала связи (радиолинии), обеспечивающего устойчивую связь изделий с наземными станциями. Передача видеоинформации производится через антенно-фидерное устройство телеметрического радиоканала КА или РБ. Устойчивость связи зависит как от надежности работы аппаратуры с учетом всех условий сопутствующих полету, так и от диаграмм направленности антенных устройств. Характер диаграмм направленности (ДН) определяется программой полета и особенностью конструкций КА. Так при ориентированном полете (наличие

ориентации одной из осей КА на Землю или другие планеты) требуемые диаграммы направленности определяются из расчетов углов связи КА на наземные измерительные пункты (НИПы). Проектирование бортовых антенных устройств БА СВК в этом случае не вызывает принципиальных затруднений и сводится к выбору типа антенн и места ее установки на корпусе КА или возможностью выноса антенны за корпус аппарата. Однако использование антенных устройств с направленными характеристиками излучения часто встречает затруднения, связанные с различными ограничениями, такими как размеры и конфигурации самого КА, зонами полезного груза, компоновкой целевой и научной аппаратуры, невозможностью применения раскрывающихся устройств и т. д. Поэтому реализовать на практике расчетную ДН не всегда удается. При неориентированном полете (произвольное и изменяющиеся во времени положение осей КА по отношению к НИПу) выдвигается требование всенаправленности характеристик излучения бортовых антенн РТС КА [1].

Настоящая работа посвящена построению математических моделей и экспериментальной отработки электрических параметров антенн, излучающих в дециметровом L-диапазоне частот

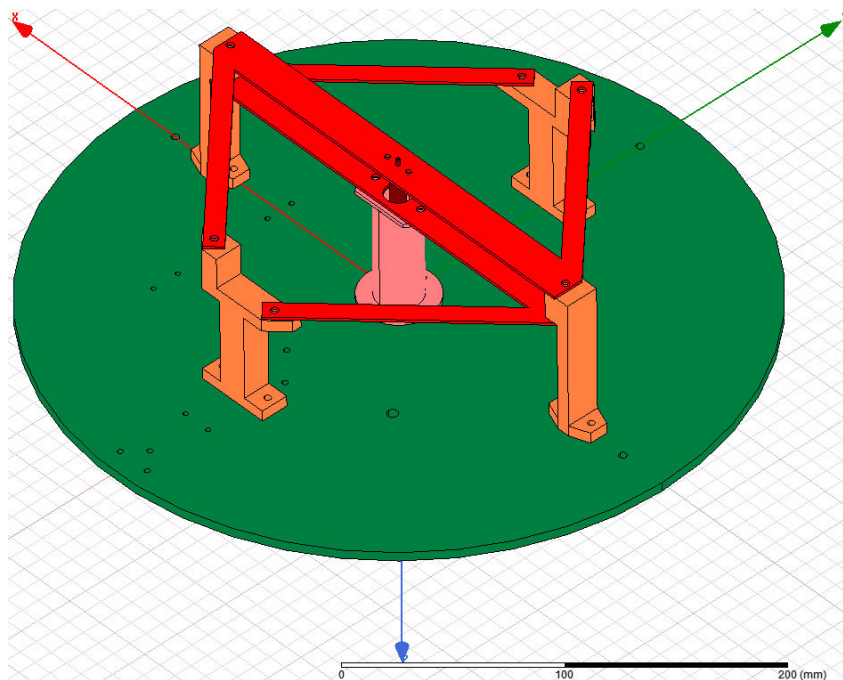


Рис. 1. Модель антенны Татаринова реализованная в Ansys HFSS [4]

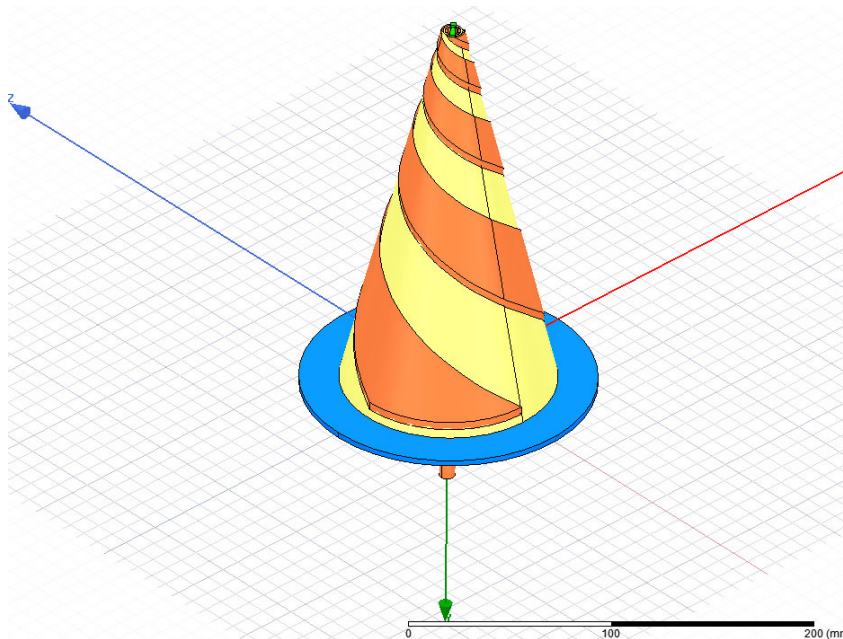


Рис. 2. Модель двухзаходной конической логоспиральной

(от 1000 до 1050 МГц), с достаточной всенаправленностью излучения, обеспечивающей необходимый коэффициент заполнения ДН в полном телесном угле.

В качестве опытных образцов антенн для БА СВК были выбраны:

– круговая антенна Татаринова, состоящая из двух полуволновых вибраторов, плечи которых расположены в горизонтальной плоскости под углом 90° друг к другу и запитаны так, чтобы токи протекали по контуру образованного вибраторами четырехугольника в одну сторону

[2]. Модель антенны Татаринова представлена на рис. 1.

– двухзаходная коническая логоспиральная антенна, витки спиралей которой запитываются через питающий трансформатор с симметрирующей щелью длиной $\lambda / 4$ [3]. Модель двухзаходной конической логоспиральной антенны представлена на рис. 2.

Обе эти антенны обладают хорошим согласованием с бортовым передающим устройством системы видеоконтроля. КСВ на рабочих частотах не превышает 1.5. Настройка КСВ на рабо-

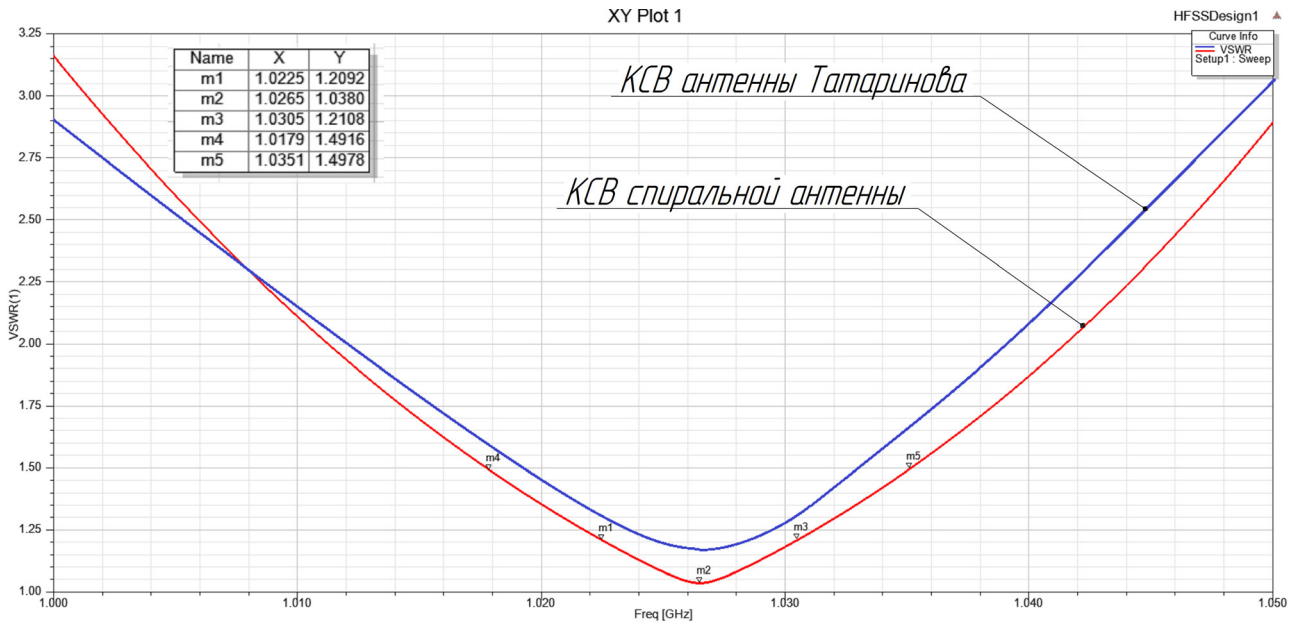


Рис. 3. Расчетные значения КСВ антенн на рабочих частотах системы видеоконтроля

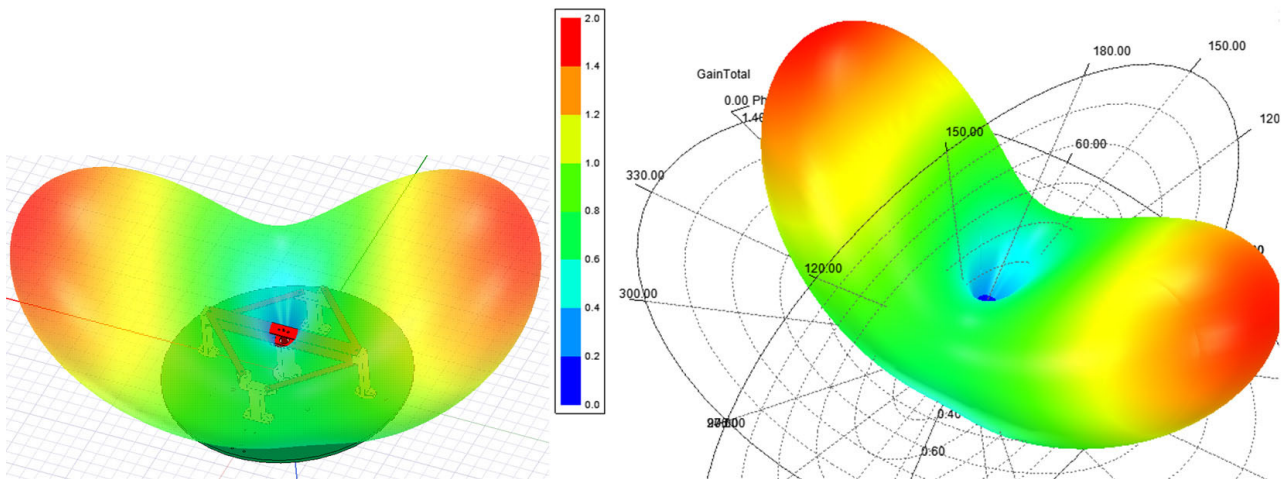


Рис. 4. Расчетная ДН антенны Татаринова

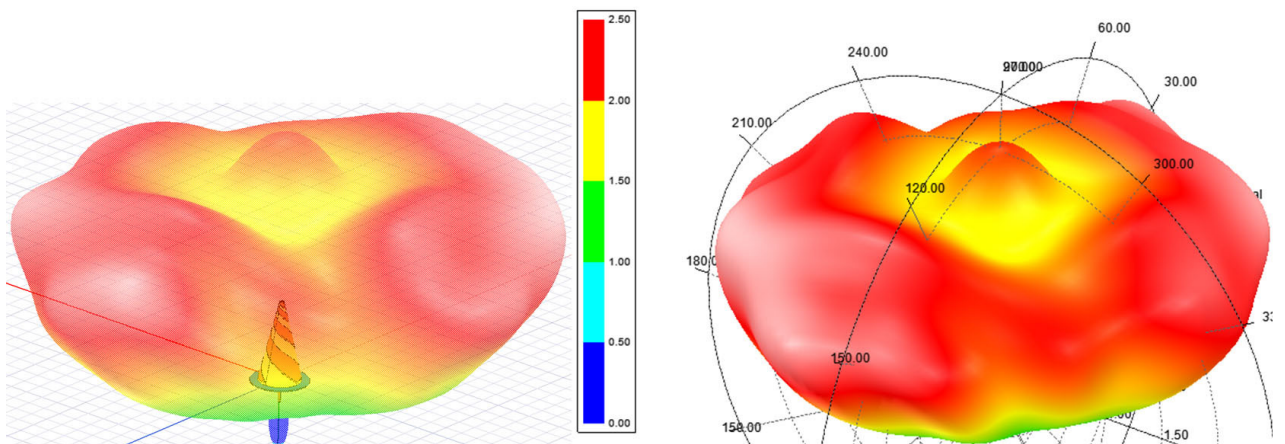


Рис. 5. Расчетная ДН двухзаходной конической спиральной антенны

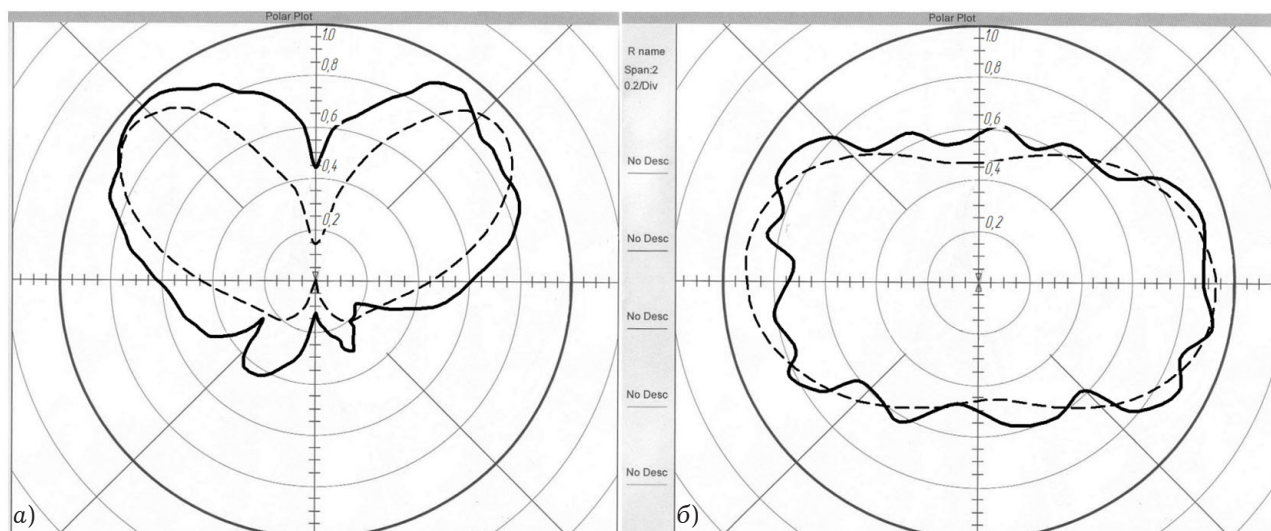


Рис. 6. Расчетная (---) и экспериментальная ДН (—) круговой антенны Татаринова в меридиональной (а) и азимутальной (б) плоскостях

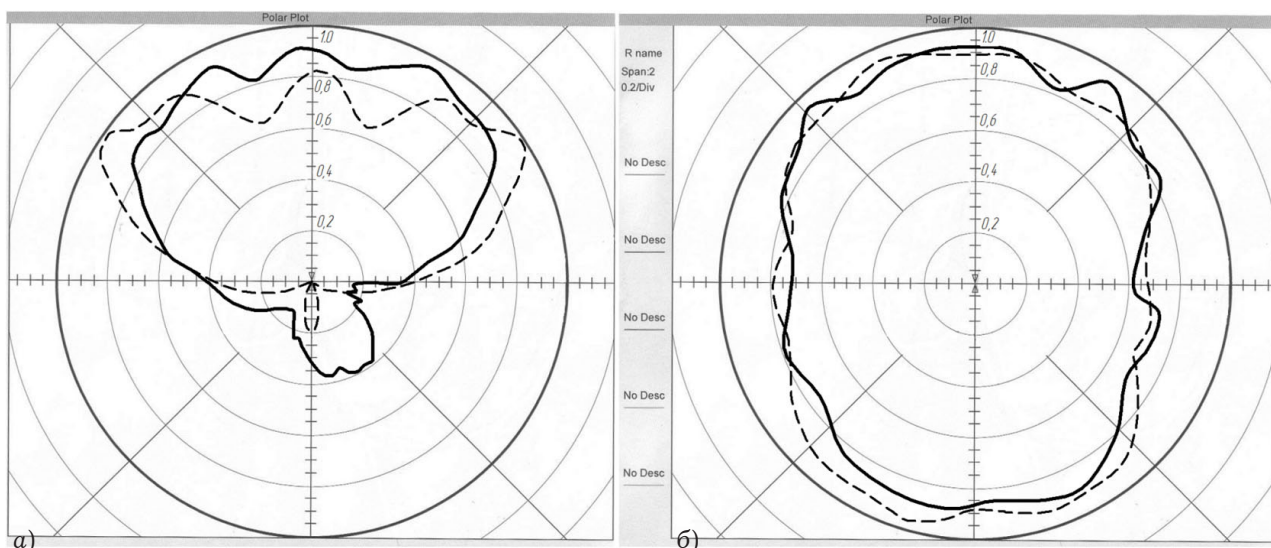


Рис. 7. Расчетная (---) и экспериментальная ДН (—) двухзаходной конической спиральной антенны в меридиональной (а) и азимутальной (б) плоскостях

чей частоте бортовой аппаратуры системы видеоконтроля в антенне Татаринова обеспечивается подрезкой трансформатора и шлейфа холостого хода. Спиральная антенна настроена на требуемый уровень КСВ последовательным трансформатором (рис. 3).

Расчетные диаграммы направленности представлены на рис. 4 и 5.

Анализируя полученные расчетным путем электрические характеристики антенн для системы видеоконтроля можно сделать следующие выводы:

- КСВ в диапазоне рабочих частот системы видеоконтроля у антенн практически одинаков и не превышает 1.5;

- максимальный коэффициент усиления антенны Татаринова составляет +2.7 дБ;

- максимальный коэффициент усиления спиральной антенны составляет +3.9 дБ;

- ширина диаграммы направленности по уровню -3 дБ у антенны Татаринова составляет в среднем по всем сечениям -136° , у спиральной антенны -174° ;

- определено наличие провала порядка -20 дБ в осевом направлении антенны в диаграмме направленности круговой антенны Татаринова.

По результатам моделирования были созданы опытные образцы вышеописанных антенн и проведена экспериментальная отработка, которая показала достаточно хорошее совпадение электрических характеристик с результатами моделирования (рис. 6–9). Максимальный коэффициент усиления круговой антенны Татаринова составил +2.2 дБ, ширина ДН по уровню -3 дБ

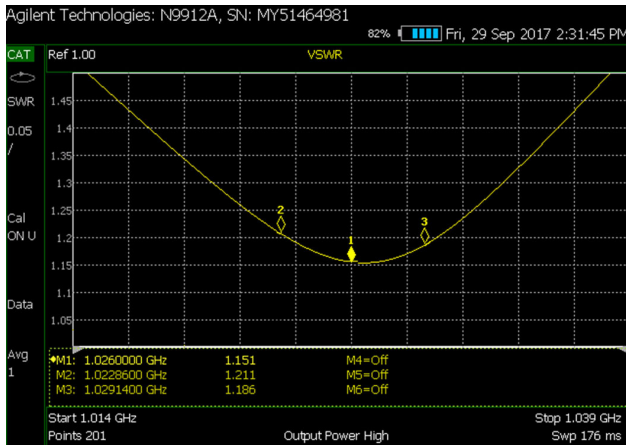


Рис. 8. КСВ опытного образца круговой антенны Татарина

составляет 142° . Максимальный коэффициент усиления двухзаходной конической спиральной антенны составил $+3.1$ дБ и ширина ДН по уровню -3 дБ – 164° .

Благодаря отсутствию провала в осевом направлении излучения и достаточно большой ширине ДН по уровню -3 дБ, пара диаметрально противоположно установленных конических логоспиральных антенн (правой и левой круговой поляризации) является более предпочтительным вариантом построения антенно-фидерного устройства для системы видеоконтроля КА или РБ, обеспечивающим всенаправленность характеристик излучения, как при ориентированном, так и при неориентированном полете изделия.

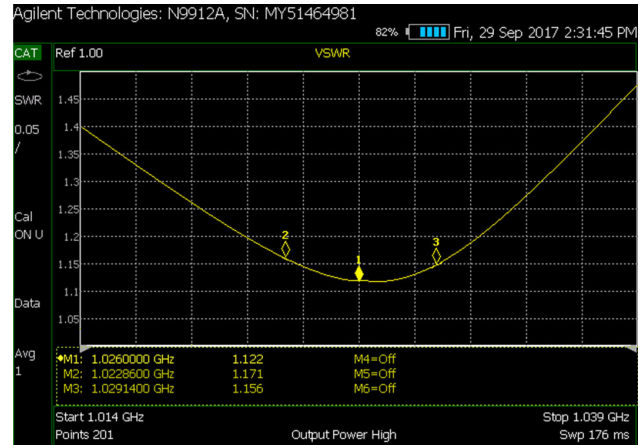


Рис. 9. КСВ опытного образца двухзаходной конической спиральной антенны

Список литературы

1. Филиппов С.Б. Разработка и исследование двухзаходных конических логоспиральных антенн радиотехнических систем космических аппаратов: дис. канд. техн. наук. Самара: ПГУТИ, 2016 г.
2. Дорохов А.П. Расчет и конструирование антенно-фидерных устройств. Харьков: Издательство Госуниверситета, 1960. 451 с.
3. Dyson J.D. The log-spiral antenna in simple arrays // Proc. of 11 University Symp. USAF Antenna Res. And Program. Illinois, 1961.
4. Разработчик системы HFSS ANSYS [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ansys.com.

Mathematical models and pilot studies of antennas of the onboard equipment of system of video control of spacecrafts and accelerating blocks

D.S. Klyuev, S.B. Philippov, A.S. Maltcev, V.A. Neganov

Article is devoted to creation of mathematical models and experimental working off of electric characteristics of antennas of the onboard equipment of video control of spacecrafts and accelerating blocks. Creation of mathematical models is carried out in HFSS on the basis of integral representations of the electromagnetic field. The question of optimization between the sizes of the antenna and the necessary direction characteristic with the decimeter L-wave range is considered. Results of numerical modeling and experimental datas for two samples of antennas are given.

Keywords: radio line, antenna-feeder device, mathematical model, conic logospiralny antenna, integral representation of the electromagnetic field, electroresponse characteristics, direction characteristic.