
УДК 621.396.67

Разработка прямоугольной микрополосковой антенны дециметрового диапазона для применения на КА «Ионосфера»

Бочаров В. С.^{*}, Генералов А. Г., Гаджиев Э. В.^{}**

*Научно-исследовательский институт электромеханики (НИИ электромеханики),
ул., Панфилова, 11, Истра, 143502, Россия*

^{1}e-mail: otd24niiem.ru*

*^{**}e-mail: gadzhiev_elchin@mail.ru*

Аннотация: в данной работе исследуется возможность разработки малогабаритных, невыступающих антенн для применения на космических аппаратах. В ходе исследования был сделан выбор в пользу микрополосковых (печатных) антенн. Для практического применения данного типа антенн был рассмотрен вариант создания новой антенной системы космического аппарата «Ионосфера».

Ключевые слова: микрополосковая антенна; космический аппарат; космос; вибраторная антенна

Введение

Обмен информацией между космическим аппаратом (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ракетой или другими исследовательскими КА и Землей является одной из главных задач. Антенны входят в линию связи как активный элемент, параметры которого, безусловно, сказываются на передаваемом сообщении. От характеристик антенны зависит не только дальность действия линии связи «КА – Земля», но и такие весьма важные характеристики линии связи, как пропускная способность и достоверность информации. Таким образом, от работоспособности антенно-фидерных устройств (АФУ) зависит работоспособность всего КА[1].

Особенностью АФУ КА является то, что, как правило, на поверхности КА заказчиком отводится определенное место для установки антенн. Зачастую этого отведенного места бывает не достаточно для установления того АФУ, которое полностью бы отвечало заданным требованиям. Поэтому приходится использовать выносные элементы (кронштейны, штанги) или другие типы антенн (ленточные, выдвижные). Порой в некоторых случаях допускается даже ухудшение параметров АФУ.

Поэтому является актуальной задача создания малогабаритных, невыступающих АФУ для КА [2]. Решение данной задачи также позволит:

1. повысить надежность АФУ КА;
2. повысить степень защищенности АФУ КА на орбите от воздействия таких факторов как космический мусор, частицы и пыль благодаря отсутствию выступающих элементов;
3. улучшить массогабаритные показатели в сторону уменьшения массы АФУ и, следовательно, самого КА;
4. более эффективно использовать площадь поверхности КА;
5. уменьшить затраты на производство АФУ КА.

В ходе исследования данной проблемы возник интерес к микрополосковым антеннам для решения указанной выше проблемы.

Микрополосковые антенны

Появление микрополосковых антенных устройств (МПА) вызвано потребностью в легких, тонких, конформных и дешевых антенных устройствах, которые можно размещать на ракетах и других летательных аппаратах, не нарушая их аэродинамические качества. В зарубежной литературе их называют печатными антеннами. В настоящее время создано и запатентовано значительное число образцов микрополосковых одноэлементных антенн и антенных решеток [3]. Выявлена возможность создавать антенны с линейной и круговой поляризацией, а также

возможность создания двухчастотных антенн. Также МПА легко устанавливаются на плоских поверхностях КА. Любое микрополосковое антенное устройство представляет собой лист диэлектрика небольшой толщины с нанесенным с обеих сторон, как правило, тонким медным покрытием. На одной стороне изготовлены излучающий элемент, цепи питания, управления и согласования. Другая металлическая сторона антенной платы служит экраном.

Широкое применение нашли печатные излучатели резонаторного типа, построенные на базе несимметричной полосковой линии. Другим типом микрополосковых антенн в печатном исполнении являются вибраторы различной конфигурации и щели, прорезанные в металлической стенке полосковой линии передачи симметричного типа. Различием этих антенн являются плоские ленточные спирали и криволинейные излучатели.

Элементы излучающих структур могут иметь самую разнообразную геометрическую форму: прямоугольную, круглую, треугольную, эллиптическую, кольцевую и др. Эти структуры могут работать как в резонансном, так и в нерезонансном режимах и могут возбуждаться полосковой линией, коаксиальным кабелем, за счет электромагнитной связи и т.д. [4]

Пример излучателя резонаторного типа приведен на рисунке 1 [5].

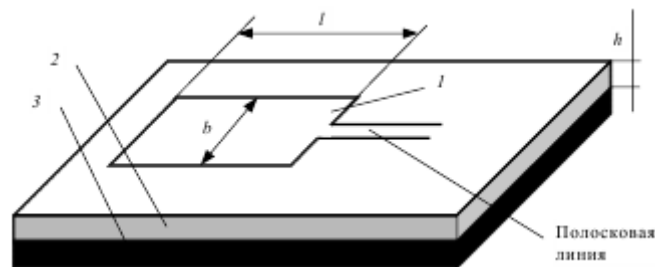


Рис.1. Печатная антенна резонаторного типа с линейной поляризацией

Излучатель состоит из прямоугольного ленточного проводника 1, расположенного на тонком диэлектрическом слое 2 с проводящей подложкой 3. Возбуждение излучателя производится полосковой линией передачи. Для линии передачи эта система является плоским, заполненным резонатором с потерями, которые обусловлены излучением. Расстояние l , как правило, равно $\lambda_d/2$, где λ_d - длина волны в диэлектрике. На краях резонатора составляющие поля, нормальные к проводящей подложке, находятся в противофазе. Составляющие поля параллельны проводящей подложке, складываясь в фазе,

образуют поле излучения линейной поляризации с направлением максимального излучения по нормали к плоскости подложки. Размер b излучателя может быть различным.

Для практического применения МПА был рассмотрен вариант создания новой антенной системы КА «Ионосфера».

Космический аппарат «Ионосфера»

КА «Ионосфера» входит в состав космического комплекса (КК) «Ионозонд». КК «Ионозонд» создается в ОАО «Корпорация ВНИИЭМ» по заказу Федерального космического агентства с целью получения регулярной и достоверной информации с помощью измерений космическими средствами характеристик и параметров процессов, явлений в ионосфере, верхних слоях атмосферы, околоземного космического пространства и магнитосферы. Программа создания комплекса рассчитана на срок до 2015 года. К этому времени орбитальная группировка должна включать 5 КА: 4 КА «Ионосфера» и 1 КА «Зонд». Для КА «Ионосфера» сотрудниками лаборатории антенно-фидерных устройств № 243 отдела № 24 ОАО «НИИ Электромеханики» были разработаны три антенны: спиральная, штыревая и вибраторная. Эти антенны составили антенную систему КА «Ионосфера», представленную на рисунке 2

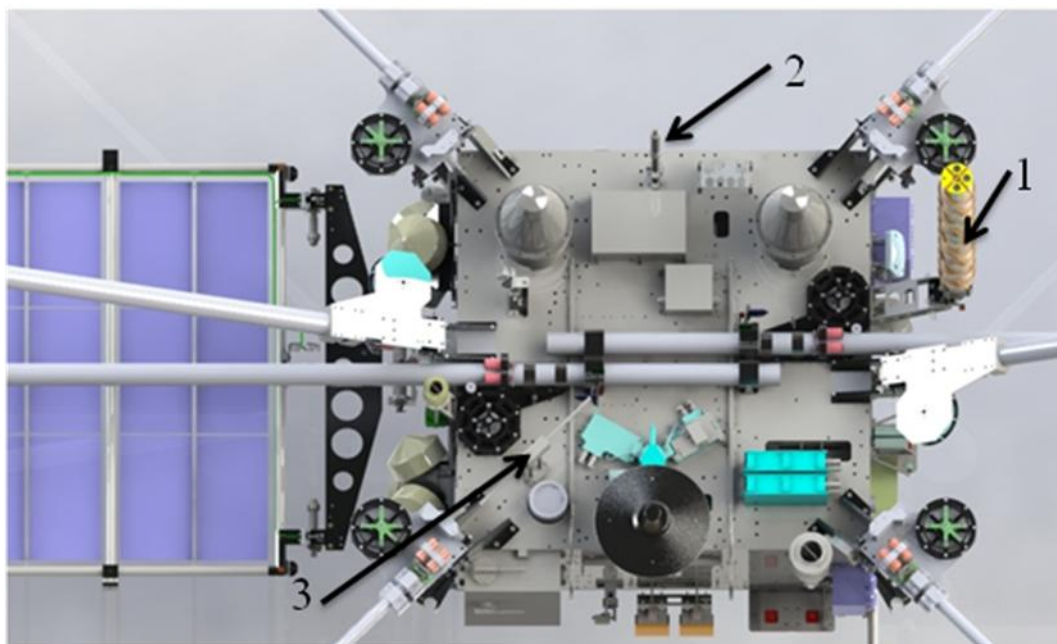


Рис.2. Объемная модель КА «Ионосфера»: 1-спиральная антенна, 2 – штыревая антенна, 3 – вибраторная антенна

В данной работе мы будем рассматривать только макет МПА взамен вибраторной антенны, представленной на рисунке 3.

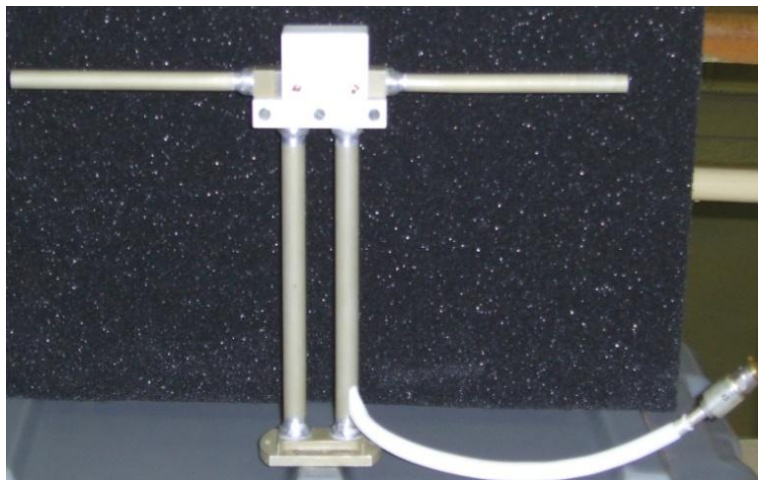


Рис. 3. Внешний вид вибраторной антенны

Антенна представляет собой полуволновый симметричный вибратор, установленный параллельно на панели корпуса КА, обращённой к Земле. Данная антенна обладает следующими характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики вибраторной антенны

Рабочий диапазон частот	$400 \pm 5,12$ МГц
Поляризация	Линейная
Коэффициент усиления (КУ)	КУ не менее «-3,5 дБ» с неравномерностью не более 6 дБ в конусе рабочих углов $\pm 45^\circ$ от надира и 360° по азимуту
Коэффициент стоячей волны (КСВ) в диапазоне рабочих частот	не более 2,0
Выходная мощность передатчика	не более 1,0 Вт
Рабочий диапазон температур	от минус 50°C до плюс 80°C
Масса	0,5 кг
Габариты	$346 \times 244 \times 35$ мм

Далее приступим к расчету и оценке габаритных размеров и электрических характеристик МПА на рабочей частоте 400 МГц.

Расчет микрополосковой антенны дециметрового диапазона

Так как МПА будет работать в условиях космоса, то необходимо при выборе диэлектрического материала МПА учитывать влияния космического излучения – ионизирующее излучение, которое состоит из первичного излучения, поступающего из космического пространства, и вторичного излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного излучения с атмосферой Земли [6]. В качестве диэлектрического материала был выбран ФЛАН-10 (наполнитель – полифенилен оксид) со следующими параметрами $\epsilon=10$ и $\text{tg}\delta \approx 1,5 * 10^{-3}$.

Остальные данные для расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Исходные данные для расчета МПА

Рабочая частота	400 МГц
Агрессивная среда	Космос (радиация)
Материал диэлектрика	ФЛАН-10
Диэлектрическая проницаемость ФЛАН-10 (ϵ)	10
Тангенс угла диэлектрических потерь ФЛАН-10 ($\text{tg}\delta$)	$\approx 1,5 * 10^{-3}$
Толщина основания	0,02 м

Далее были рассчитаны габариты МПА, оценены электрические характеристики (коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности)[7, 8, 9, 10, 11].

В результате был разработан макет МПА в масштабе 1:10 для проведения испытаний электродинамического подобия на модели КА «Ионосфера» в масштабе 1:10 на рабочей частоте 4000 МГц, представленный на рисунке 4.



Рис.4. Внешний вид макета МПА 4000 МГц

Была рассчитана теоретическая диаграмма направленности (ДН) МПА 400 МГц, представленная на рисунке 5.

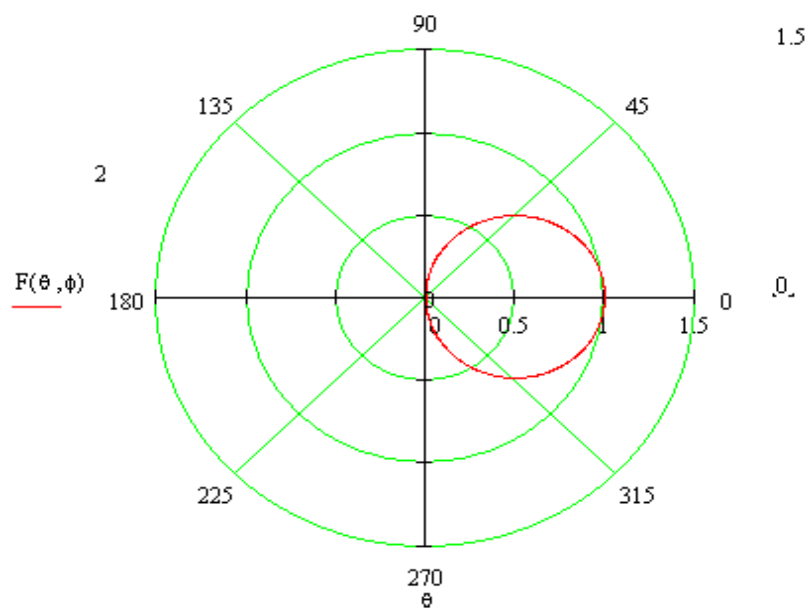


Рис. 5. Теоретическая ДН МПА 400 МГц

Представленная ДН рассчитана для свободного пространства, т.е. без учета влияния на антенну поверхности КА. По полученному результату можно сделать вывод, что МПА обеспечит необходимые требования по ДН и КУ, приведенные в таблице 1.

В настоящее время продолжают работы по нахождению оптимального месторасположения МПА на поверхности носителя КА с помощью электродинамического моделирования; получению ДН МПА уже на поверхности КА «Ионосфера», т.е. практической ДН МПА; по отработке конструктивных особенностей МПА.

Заключение

Таким образом, с помощью применения микрополосковых (печатных) антенн в качестве бортовых АФУ можно решить указанные выше задачи, а именно:

1. создать малогабаритную и невыступающую антенну;
2. повысить степень защищенности антенны в связи с отсутствием выступающих элементов антенн;
3. повысить надежность антенны, благодаря уменьшению количества элементов, входящих в структуру антенны;
4. более эффективно использовать поверхность носителя;
5. уменьшить затраты на производство антенны, т.е. стоимость изделия.

Библиографический список

1. Пригода Б.А., Кокунько В.С. Антенны летательных аппаратов. М.: — Военное издательство министерства обороны СССР. 1964. 120 с.;
2. Проблемы антенной техники/ Под ред. Бахраха Л.Д., Воскресенского Д.И. М.: — Радио и связь, 1989, 368 с.;
3. Подторжнов О.М., Воробьева З.М.. Печатные полосковые антенны (Патенты США, Англии, Франции, ФРГ, Японии). Обзоры по электронной технике. Серия: «Электроника СВЧ», вып. 8(902). — М.: ЦНИИ «Электроника», 1982, 54 с.;
4. Веселов Г.И., Егоров Е.Н., Алехин Ю.Н. и др. Микроэлектронные устройства СВЧ. Учеб. пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов. — М.: Высш. шк., 1988, 280 с.;
5. Проектирование полосковых устройств. Учебное пособие, Ульяновский государственный технический университет, 2001, 129 с.;

6. Князев В.К., Сидоров Н.А., Курбанов В.Г., Касьянов Г.В.. Радиационная стойкость материалов радиотехнических конструкций. Под редакцией Князев В.К., Сидоров Н.А.. – М.: «Сов. радио», 1976, 568 с.
7. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И.. Устройство СВЧ и антенны/ Под редакцией Воскресенского Д.И.. Изд. 3-е, исп. и доп. – М.: Радиотехника, 2008, 384с.;
8. Нефёдов Е.И.. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2010, 320 с.;
9. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И.. Микрополосковые антенны. — М.: Радио и связь, 1986, 144 с.;
10. Веселов Г.И., Егоров Е.Н., Алехин Ю.Н. и др. Микроэлектронные устройства СВЧ. Учеб. пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов. — М.: Высш. шк., 1988, 280 с.;
11. Панченко Б.А., Князев С.Т., Нечаев Ю.Б., Николаев В.И., Шабунин С.Н.. Электродинамический расчет характеристик полосковых антенн. – М.: Радио и связь, 2002, 256 с.;

Научный руководитель д.т.н., профессор Воскресенский Д.И.