

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДВУХЧАСТОТНОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «ИОНОСФЕРА»

В.С. Бочаров, А.Г. Генералов, Э.В. Гаджиев  
(ОАО «НИИЭМ», г. Истра)

*Представлены результаты моделирования микрополосковых (печатных) антенн метрового и дециметрового диапазонов для перспективного использования в составе антенной системы малого космического аппарата (МКА) «Ионосфера». Предложена и рассмотрена модель, в которой использовано свойство микрополосковых (печатных) антенн допускать работу в двухчастотном режиме. Данная модель была реализована с помощью системы автоматизированного проектирования. Полученные результаты в ходе моделирования (коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления и т. д.) удовлетворяют техническому заданию на антенную систему МКА «Ионосфера».*

**Ключевые слова:** микрополосковая (печатная) антенна, космический аппарат (КА), двухчастотная антенна, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

На сегодняшний день в космической индустрии идёт активный процесс миниатюризации космической техники. Данный процесс приводит к миниатюризации и всего бортового оборудования космических аппаратов (КА), в том числе и бортовых антенно-фидерных устройств (АФУ). В силу ряда особенностей бортовых АФУ, подробно описанных в [1], перед разработчиками бортовых антенных систем возникает актуальная задача по разработке малогабаритных, невыступающих бортовых АФУ для малых КА (МКА).

В [2] представлен обзор возможных вариантов построения таких антенных систем. В ходе анализа всех возможных путей решения данной задачи, возник интерес к применению в качестве бортовых АФУ широкого назначения микрополосковых (печатных) антенн (МПА).

Для практического применения данного типа антенн рассматривается вариант построения новой антенной системы из МПА МКА «Ионосфера» № 3 и № 4. Для МКА «Ионосфера» № 1 и № 2 была разработана антенная система, состоящая из спиральной (рабочая частота 137 МГц), штыревой (рабочая частота 150 МГц) и вибраторной (рабочая частота 400 МГц) антенн [3].

В данной работе рассматривается проектирование МПА на рабочих частотах 150 и 400 МГц.

Данные антенны предназначены для работы в составе двухчастотного передатчика «МАЯК 150/400» (рис. 1).

Передатчик предназначен для высокоточных радиотомографических измерений регулярной, волновой и стохастической структуры распределения электронной концентрации в подспутниковой толще ионосферной плазмы с целью выявления ано-

мальных явлений и характерных признаков изменений в ионосфере, связанных с естественными и искусственными возмущениями ионосферы (вулканическая, сейсмическая, циклоническая и грозовая активность, техногенные воздействия), а также для мониторинга ионосферы с целью изучения физических процессов в ионосферной плазме и уточнения существующих моделей ионосферы.

К АФУ двухчастотного бортового передатчика «МАЯК 150/400» предъявляются требования, приведённые в [3].

В работах [4, 5] представлены результаты разработки МПА метрового и дециметрового диапазонов для перспективного применения в составе антенной системы КА «Ионосфера».



**Рис. 1. Бортовой двухчастотный передатчик  
«МАЯК 150/400»**

За счёт подбора СВЧ-диэлектрика, используемого в качестве подложки антенны с оптимальными значениями диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ , и введения новых элементов в конструкцию самой антенны удалось получить оптимальные габаритные показатели, которые являются приемлемыми для использования этих МПА в качестве бортовых.

Затем было осуществлено моделирование МПА.

Модели МПА были получены с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) Electromagnetic Professional (EMPro) [6]. В ходе моделирования был использован метод конечных элементов. Основные полученные результаты моделирования МПА 150 и МПА 400 МГц представлены в [7], которые удовлетворяют техническому заданию на антенную систему МКА «Ионосфера».

Возник интерес к проектированию двухчастотной МПА. Этот вариант построения антенны для передатчика «МАЯК 150/400» позволил бы уменьшить габариты бортовой антенны, так как благодаря возможности осуществления в МПА двухчастотного режима можно уйти от применения двух антенн и использовать всего одну двухчастотную МПА 150/400 МГц. Были рассчитаны габаритные размеры такой МПА, а затем проведено моделирование в САПР EMPro двухчастотной МПА 150/400 МГц.

На рис. 2 приведены графики коэффициента стоячей волны модели антенны. На рис. 3 приведены графики зависимости диаграммы направленности модели.

### Технические характеристики передатчика

|   |                  |
|---|------------------|
| Рабочая частота первого канала                  | 400±2,7 МГц      |
| Рабочая частота второго канала                  | 150±1 МГц        |
| Выходная мощность первого и второго канала      | 27 Дбм           |
| Выходное сопротивление первого и второго канала | 50 Ом            |
| Мощность потребления в режиме передачи          | 6 Вт             |
| Мощность потребления в режиме молчания          | 0,7 Вт           |
| Габариты модуля передатчика                     | 191×140×58 мм    |
| Масса модуля передатчика                        | 0,98 кг          |
| Средняя наработка изделия на отказ              | не менее 10000 ч |
| Срок службы                                     | не менее 3 лет   |
| Допустимый срок хранения                        | не менее 2 лет   |

В ходе моделирования были получены следующие результаты:

- коэффициент стоячей волны на входах модели 1,1;
- диаграмма направленности обладает преимущественным направлением на центр Земли в пределах  $0^\circ - 45^\circ$  от надира и  $0^\circ - 360^\circ$  по азимуту;
- коэффициент усиления модели по мощности в направлении центра Земли не менее 4 дБ, а в направлении  $0^\circ - 45^\circ$  не менее 0 дБ.

Таким образом, предложена и разработана модель двухчастотной микрополосковой (печатной) антенны, характеристики которой не хуже, чем у моделей МПА 150 и МПА 400 МГц, а также

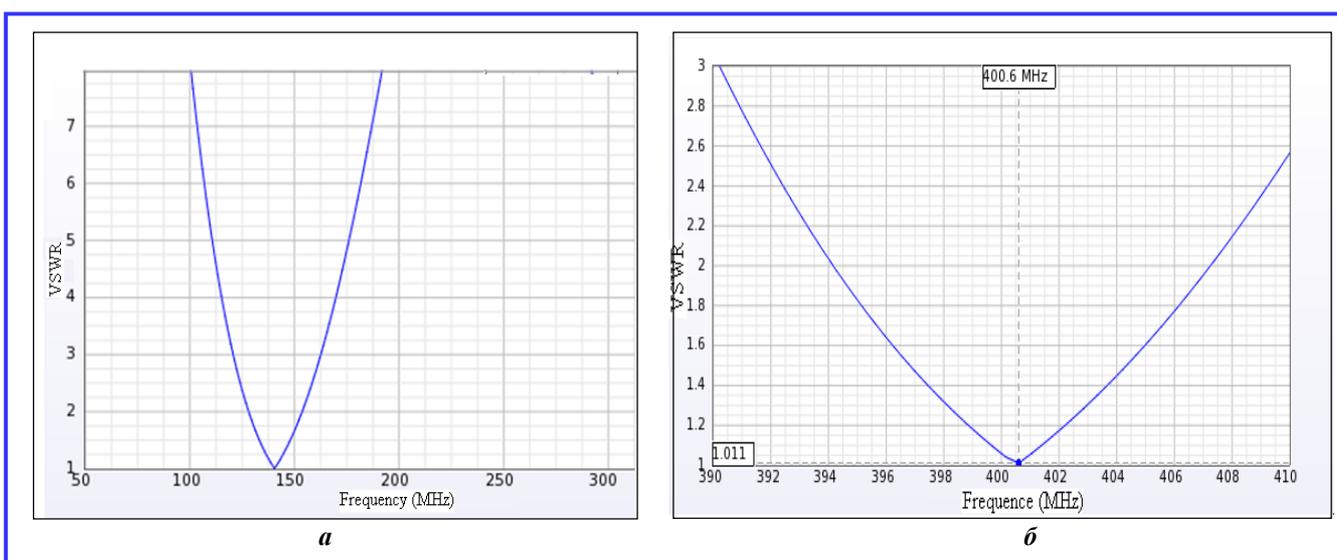


Рис. 2. Коэффициент стоячей волны модели МПА 150/400 МГц: *a* – на рабочей частоте 150 МГц; *б* – на рабочей частоте 400 МГц

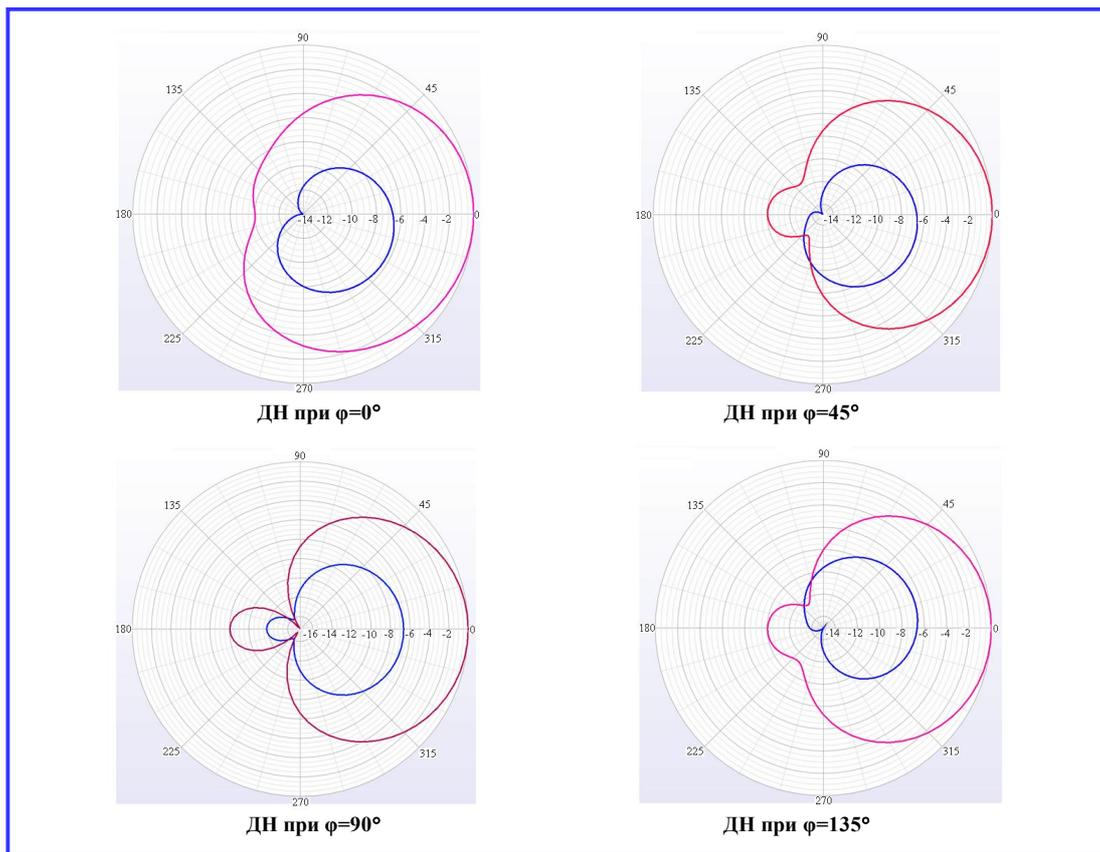


Рис. 3. Диаграмма направленности модели МПА 150/400 МГц

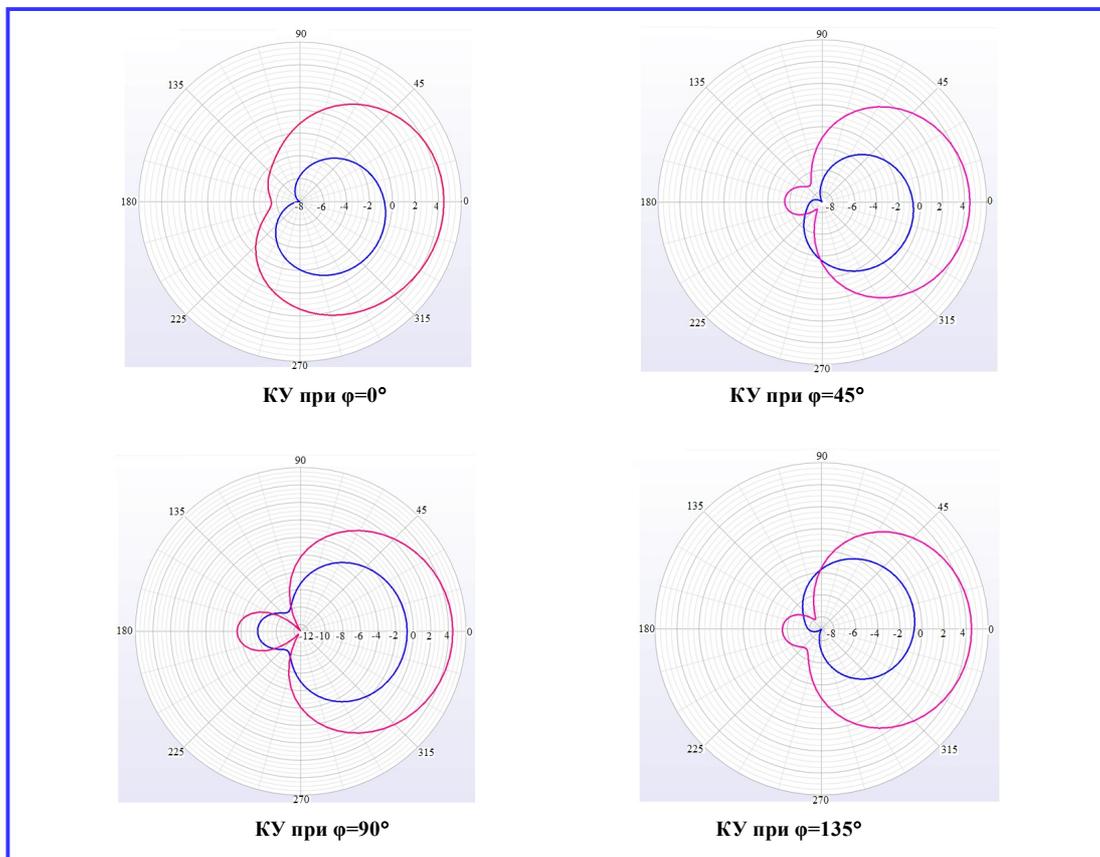


Рис. 4. Коэффициент усиления МПА 150/400 МГц

удовлетворяют техническому требованию на антенную систему МКА «Ионосфера». Применение такой МПА позволит более эффективно использовать поверхность КА, повысить надёжность и снизить массу.

#### Литература

1. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Особенности бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов / В. С. Бочаров и др. // В сб. «Научно-технический семинар «Перспективы развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов», 25 сентября 2013 г. – Истра : ОАО «НИИЭМ», 2013. – С. 55 – 58.
2. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Пути построения малогабаритных, невыступающих бортовых антенных систем малых космических аппаратов. IV Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Материалы VI Всероссийской научной конференции «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред», 27 – 29 мая. Муром: полиграфический центр МИ ВлГУ, 2014. – Режим доступа: URL: [http://www.mivlgu.ru/conf/armand2014/rmdzs-2014/pdf/S1\\_17.pdf](http://www.mivlgu.ru/conf/armand2014/rmdzs-2014/pdf/S1_17.pdf) (дата обращения 23.06.14).
3. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Антенная система космического аппарата «Ионосфера» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 131. – № 6. – С.11 – 14.
4. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Разработка прямоугольной микрополосковой антенны дециметрового диапазона для применения на КА «Ионосфера» / В. С. Бочаров и др. // Труды МАИ. – 2013. – № 65.
5. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Разработка прямоугольной микрополосковой антенны метрового диапазона (150 МГц) для применения на космическом аппарате «Ионосфера» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2013. – Т. 136. – № 5. – С. 15 – 18.
6. Гаджиев Э. В. Моделирование бортовых антенн СВЧ космических аппаратов / Э. В. Гаджиев // Антенны. – 2013. – № 9 (196). – С. 65 – 68.
7. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Design of microstrip antennas for frequency on-board transmitter «МАУАК 150/400» (CriMiCo 2013) // 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology: Conference proceedings. – P. 582 – 583.

Поступила в редакцию 07.07.2014

*Владимир Семёнович Бочаров, начальник лаборатории.  
Александр Георгиевич Генералов, начальник сектора.  
Эльчин Вахидович Гаджиев, инженер, аспирант.  
Т. (495) 994-55-57.  
E-mail: otd24@niiem.ru.*