

## **К вопросу о построении антенн зондирования атмосферы, ионосферы и земной поверхности из космоса с помощью малых космических аппаратов**

В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев

ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики» (ОАО «НИИЭМ»),  
143502 Московская область, г. Истра, ул. Панфилова 11, E-mail: [otd24@niiem.ru](mailto:otd24@niiem.ru)

*В данной работе представлен анализ построения антенн зондирования атмосферы, ионосферы и земной поверхности из космоса с помощью малых космических аппаратов. Предложены варианты построения таких антенн.*

*In this paper an analysis of construction of antennas sensing of atmosphere, ionosphere and Earth's surface from space using small spacecraft is presents. The variants of constructing such antennas are suggested.*

### **Введение**

Методика двухпозиционного радиозондирования атмосфер, ионосфер и поверхностей планет разрабатывалась параллельно в СССР и США в 60-х – начале 70-х годов XX века и затем была применена для бистатической радиолокации Земли [1, 2]. При двухпозиционном радиозондировании передатчик и приемник разнесены относительно друг друга на большое расстояние и движутся с разными скоростями относительно исследуемого объекта. При изучении атмосфер и ионосфер с помощью космических аппаратов и спутников указанный метод получил название радиозатменного, поскольку наибольшая эффективность зондирования достигается при заходе передатчика (приемника) в зону радиотени Земли (планеты), когда радиоволны проходят практически вдоль слоистых структур. Применительно к зондированию поверхностей Земли и планет метод стал называться бистатической (двухпозиционной) радиолокацией. В последнее время с появлением многочисленных навигационных спутников-передатчиков высокостабильных, синхронизированных атомными часами, стало целесообразно употребление термина многопозиционной радиолокации или интерферометрии.

### **Основная часть**

В работе [3] указано, что требуется многолучевая бортовая антенна с высоким коэффициентом усиления, которая может принимать опорные сигналы от десяти или более навигационных спутников, а также регистрировать соответствующие им отражения от окрестностей зеркальных точек на земной поверхности.

Предлагается улучшить эффективность зондирования на малых космических аппаратах за счет применения простых, но более эффективных антенн по сравнению с применяемыми в настоящее время.

В ходе уточнения требований к антенне у разработчиков аппаратуры зондирования были получены следующие характеристики:

- коэффициент усиления не менее 13 дБ;
- ширина диаграммы направленности по азимуту от 30° до 90°;
- ширина диаграммы направленности по углу места от 12° до 15°;
- рабочие частоты: 1,2 ГГц и 1,6 ГГц.

Возможно применение антенн с неравномерной диаграммой направленности.

Далее были рассмотрены следующие варианты для решения задачи по построению антенн для аппаратуры зондирования [4]:

- спиральный излучатель (количество витков спирали 8);
- спиральный излучатель (количество витков спирали 11);
- спиральная антенная решетка из четырёх элементов (количество витков спирали 6);
- спиральная антенная решетка из четырёх элементов (количество витков спирали 8);
- антенная решетка из двух элементов;
- микрополосковый (печатный) излучатель;
- рупорный излучатель со спиральным возбуждением.

У спиральной антенной решетки (количество витков спирали 6) применены четвертьволновые «стаканы», диаметр которых  $0,7 \lambda$ .

Для варианта построения антенн для аппаратуры зондирования с помощью микрополоскового излучателя был проведён предварительный расчёт с использованием систем автоматизированного проектирования Electromagnetic Professional (EMPro), в ходе которого были оценены полученные результаты по отношению к заданным требованиям [5]. Данный вариант особенно актуален для малых космических аппаратов в виду малых размеров самого аппарата и, соответственно, малого места на поверхности спутника для установки бортовой антенны [6].

Для остальных вариантов было проведено измерение входное сопротивление, диаграмм направленности, а также оценка коэффициента усиления.

Измерения были проведены на территории антенного полигона лаборатории антенно-фидерных устройств «Научно-исследовательского института электромеханики» города Истра Московской области (ОАО «НИИЭМ» г. Истра).

Во всех рассмотренных выше вариантах построения антенной системы для аппаратуры зондирования полученные характеристики удовлетворяют требованиям к антенной системе аппаратуры зондирования.

Большое количество рассмотренных вариантов дает возможность разработчикам аппаратуры зондирования выбрать оптимальный вариант построения антенной системы для конкретного космического аппарата, на котором планируется установка аппаратуры данного типа, в том числе и для малых космических аппаратов и микроспутников.

### **Заключение**

Применение таких антенн позволит улучшить характеристики научных экспериментов по зондированию атмосферы, ионосферы и земной поверхности из космоса с помощью космических аппаратов, в том числе и малых, а предложенные варианты построения антенн данной аппаратуры позволит разработчикам выбрать оптимальный вариант в зависимости от космического аппарата, на котором будет установлена аппаратура зондирования.

### **Литература**

1. Рубашкин С.Г., Павельев А.Г., Яковлев О.И., Кучерявенков А.И., Сидоренко А.И., Захаров А.И. Отражение радиоволн поверхностью океана при бистатической локации с использованием двух спутников. Радиотех. и электро. 1993 г. Т. 38. №3. С. 447–453.
2. Paveleyev A.G., Volkov A.V., Zakharov A.I., Krytikh S.A., Kucherjavenkov A.I. Bistatic radar as a tool for Earth observation using small satellites. Acta Astronautica 1996. V. 39. No. 9–12. P. 721–730.

3. Потемкин Е.О., Матюгов С.С., Павельев А.Г. Перспективы двухпозиционного зондирования атмосферы, ионосферы и земной поверхности из космоса с помощью высокостабильных сигналов спутниковых навигационных систем. VII Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь» 25 – 27 ноября 2013 г. М.: ИРЭ им. В.А. Котельникова. 2013. С. 184–188.
4. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Антенно-фидерные устройства в разработках ОАО «НИИЭМ», г. Истра Московской области. 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2013) 8–13 сентября 2013 г., Севастополь, Украина: материалы конф. в 2 т. – Севастополь: Вебер. 2013. С. 46–47.
5. Гаджиев Э.В. Моделирование бортовых антенн СВЧ космических аппаратов. Антенны. 2013. №9(196). С. 65–68.
6. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Миниатюризация бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов. Материалы научно-технического семинара «Перспективы развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов». Истра: ОАО «НИИЭМ». 2013. С. 51–55.