

Методика согласования бортовой микрополосковой антенны с фидерным трактом

Е.В. Овчинникова¹, П.А. Шмачилин¹, С.Г. Кондратьева¹, А.Г. Генералов²,
Э.В. Гаджиев²

¹⁾ Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский Университет) (МАИ (НИУ)) Волоколамское шоссе дом 4, E-mail: oea8888@gmail.com

²⁾ АО «Научно-исследовательский институт электромеханики» (АО «НИИЭМ»), 143500, Московская область, г. Истра, ул. Панфилова 11, E-mail: otd24@niiem.ru

Одной из главных задач при проектировании антенных систем является задача по согласованию антенны в полосе рабочих частот. При согласовании бортовой антенны космического аппарата необходимо учитывать её размещение на поверхности аппарата. Расположение антенны относительно передатчика или приёмника определяет требования к кабельной сети. В настоящее время идёт активный процесс миниатюризации всей космической техники, включая и бортовое оборудование. Современной и актуальной задачей является разработка малогабаритной, не выступающей антенной системы для малых космических аппаратов. В данной работе приведена методика параметрической оптимизации согласования бортовых микрополосковых антенн. Представлены частотные характеристики микрополосковых антенн различной конструкции.

Antenna matching in operating band is the one of the main task in designing antenna systems. It is necessary take into account placement spacecraft antenna on the surface spacecraft when we speak about spacecraft antenna matching. Antenna position concerning transmitter or receiver define requirements to cable system. At present, there is an active process of miniaturization of the whole space technology, including on-board equipment. Design small-size, low-profile antenna system for small spacecrafts is the modern and actual task. In this paper the method of parametric optimization on-board microstrip antenna matching is presented. Frequency characteristics of difference types microstrip antennas are defined.

Введение

При создании антенной системы возникает необходимость согласования излучателя с фидером (трактом СВЧ) в рабочем диапазоне частот. В случае с бортовыми антеннами, проблема согласования усугубляется влиянием условий размещения антенны на борту космического аппарата (КА). Положение антенны относительно передатчика или приёмника определяет ряд требований к кабельной сети.

В соответствии с этими требованиями выбираются параметры кабеля, используемого для возбуждения бортовой антенной системы. Как правило, требуется фиксированная длина кабеля, которая определена расположением передатчика или приёмника и бортовой антенны, что при стремлении уменьшить массу бортовой кабельной сети приводит к уменьшению диаметра кабеля, что в свою очередь приводит к дополнительным потерям, а, следовательно, к снижению коэффициента полезного действия (КПД) антенной системы [1–3].

Численное электродинамическое моделирование

В настоящее время актуальной является задача по разработке малогабаритной, невыступающей антенной системы малых КА. Это обусловлено тем, что идет активный процесс миниатюризации космической техники, который заключается в переходе от разработок и внедрения малых КА (массой меньше 500 кг) вместо больших КА (массой более 1 т) [4, 5].

Данный процесс затронул и бортовые антенно-фидерные устройства (АФУ) КА [6].

В качестве бортовой антенны малых КА предложен и рассмотрен вариант применения микрополосковых антенн (МПА) [7].

Как правило, МПА имеют простую конструкцию. Один из возможных вариантов МПА приведён на рис. 1 [8, 9].

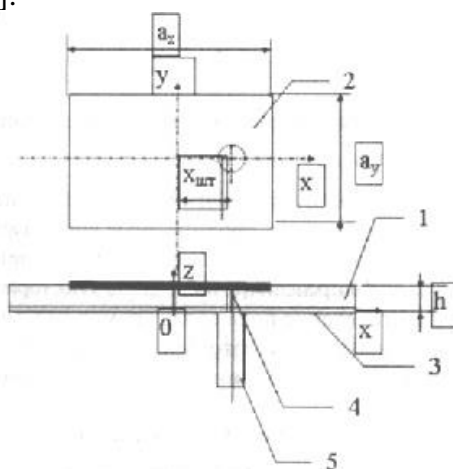


Рис. 1. Структура МПА: 1 – диэлектрическая подложка, 2 – металлическая пластинка, 3 – металлический экран, 4 – штырь, 5 – коаксиальный проводник.

Через a_x , a_y на рис. 1. обозначены размеры пластинки по осям x , y соответственно, h толщина подложки, $r_{шт}$, $x_{шт}$ – радиус и координаты точки включения штыря соответственно.

Для построения миниатюрных МПА метрового и дециметрового диапазонов предложен вариант с введением в структуру антенны закорачивающего элемента и применением в качестве подложки диэлектрика с большим значением диэлектрической проницаемости ϵ [10].

Эти изменения конструкции МПА позволяют:

- разрабатывать четвертьволновые МПА метрового и дециметрового диапазонов, обладающие меньшими габаритами примерно в 2–2,5 раза, чем аналогичные полуволновые МПА тех же диапазонов;
- обеспечить высокие энергетические показатели (коэффициент стоячей волны (КСВ), диаграмма направленности (ДН), коэффициент усиления (КУ));
- обеспечить простую в изготовлении и надёжную конструкцию антенны.

Проведён анализ существующей в настоящий момент линейки СВЧ-диэлектриков для построения миниатюрных МПА [11]. В результате анализа предложен вариант применения фольгированного листового арилокса наполненного (ФЛАН) в качестве диэлектрика для построения миниатюрных МПА, характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики ФЛАН

Характеристика материала	Обозначение материала					
	ФЛАН – 2,8	ФЛАН – 3,8	ФЛАН – 5,0	ФЛАН – 7,2	ФЛАН – 10	ФЛАН – 16
Диэлектрическая проницаемость ϵ	2,8±0,1	3,8±0,1	5,0±0,2	7,2±0,3	10±0,5	16±0,8
Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$	0,0015	0,0012	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Плотность без фольги, $г/см^3$	1,2±0,1	1,8±0,1	1,55±0,1	1,85±0,1	2,1±0,1	2,6±0,1

На практике представляет интерес применение МПА, имеющих следующие конструкции:

- с одним закорачивающим элементом в структуре антенны;
- с двумя закорачивающими элементами в структуре антенны;
- без закорачивающих элементов в структуре антенны.

На рис. 2 представлены перечисленные выше МПА.

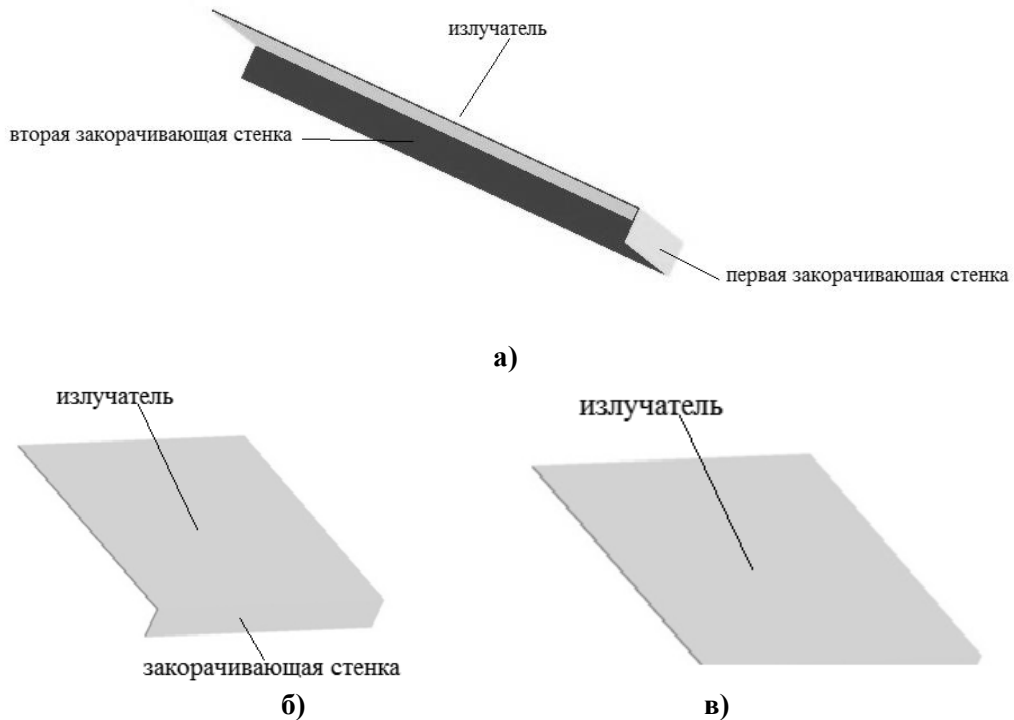
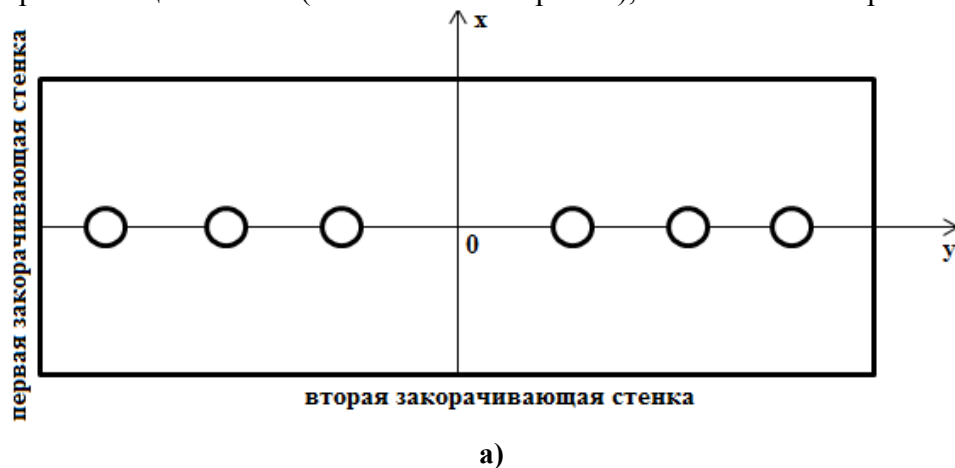
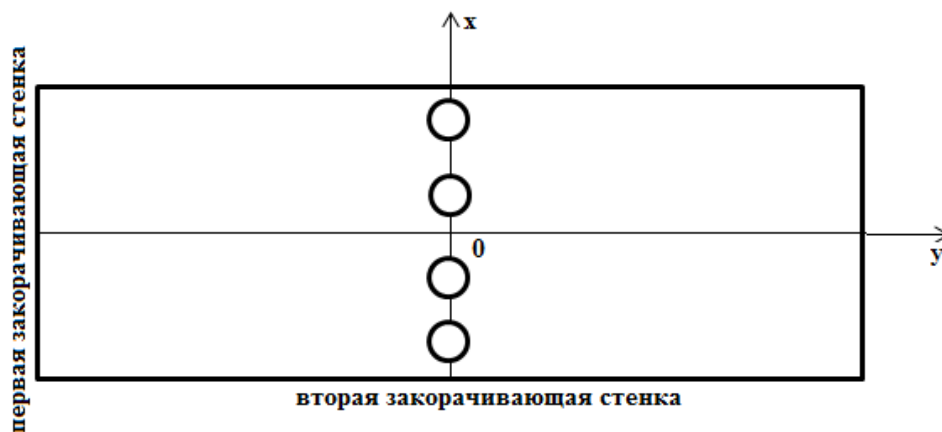


Рис. 2. Исследуемые модели МПА: а) с двумя закорачивающими стенками; б) с одной закорачивающей стенкой; в) без закорачивающей стенки.

В ходе осуществления электродинамического моделирования для всех типов рассматриваемых в работе моделей МПА был применён метод конечных элементов.

Исследование КСВ модели осуществлялось путём изменения положения запитывающего штыря через каждые 5 мм. Рассмотрен вариант размещения штыря как напротив первой закорачивающей стенки (меньшей по габаритам), так и напротив второй закорачивающей стенки (большей по габаритам), как показано на рис. 3.





б)

Рис. 3. Схема размещения штыря: а) напротив первой закорачивающей стенки; б) напротив второй закорачивающей стенки.

Аналогичным образом проведено исследование зависимости КСВ моделей и других конструкций МПА.

На рис. 4. представлена зависимость КСВ МПА с двумя закорачивающими элементами при расположении штыря вдоль оси X (вдоль первой закорачивающей стенки).

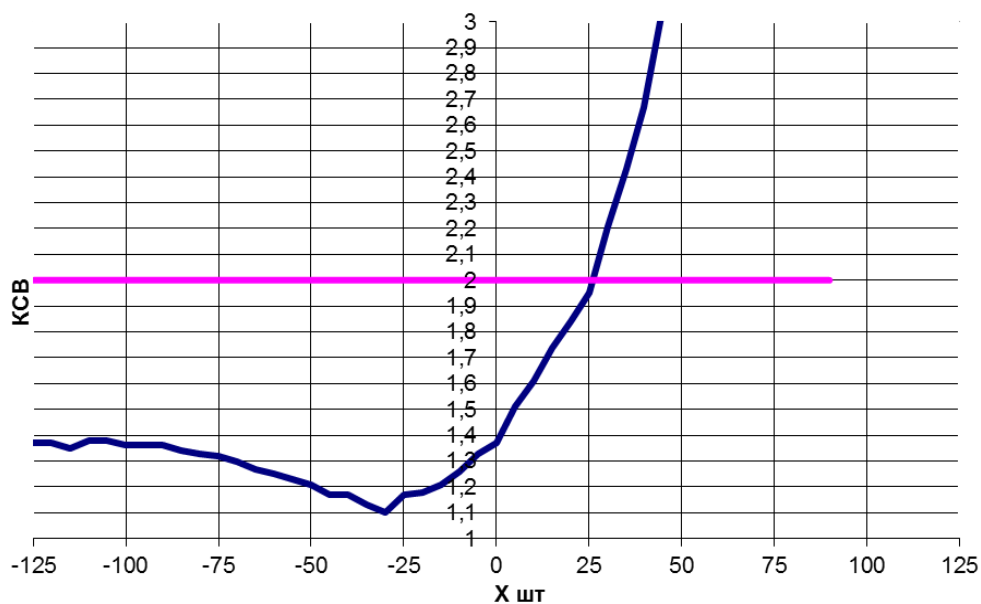


Рис. 4. Зависимость КСВ МПА с двумя закорачивающими элементами при расположении штыря вдоль оси X (вдоль первой закорачивающей стенки).

На рис. 5. представлена зависимость КСВ МПА с двумя закорачивающими элементами при расположении штыря вдоль оси Y (вдоль большей закорачивающей стенки).

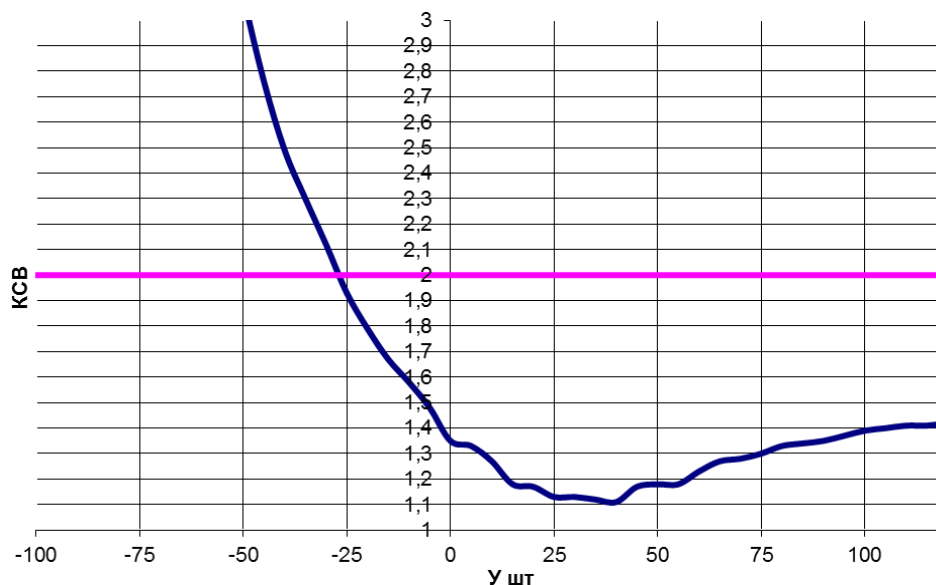


Рис. 5. Зависимость КСВ МПА с двумя закорачивающими элементами при расположении штыря вдоль оси Y (вдоль второй закорачивающей стенки).

В работе [12] представлены результаты исследования зависимости КСВ МПА с одной закорачивающей стенкой и без закорачивающей стенки. Благодаря проведённому исследованию, сформулирована и предложена методика согласования для МПА.

Применение методики на практике

Полученные результаты применены на практике при проектировании МПА для применения в составе бортовой антенной системы КА.

В работах [13–16] нашли применение указанные варианты построения малогабаритных МПА для применения в составе антенных систем малых КА.

На рис. 6 представлены разработанные образцы МПА.

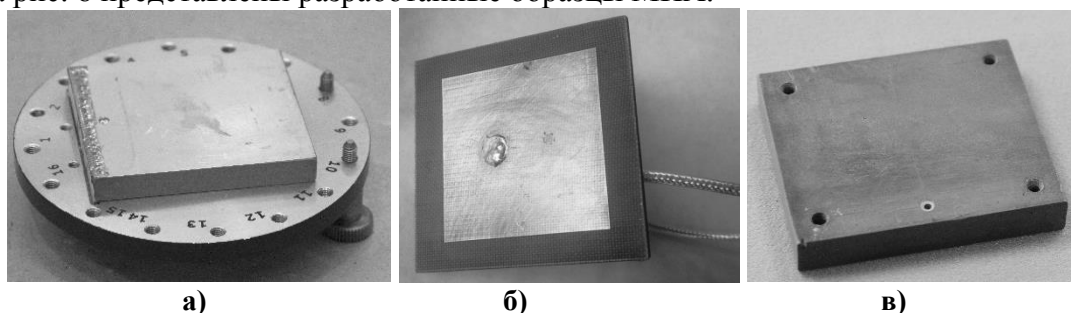


Рис. 6. Фото опытные образцы МПА: а) вспомогательная антенна для системы КОСПАС–САРСАТ; б) антенна телекомандной системы; в) навигационная антенна ГЛОНАСС.

А на рис. 7. представлена измеренная зависимость КСВ МПА, которая представлена на рис. 6б).

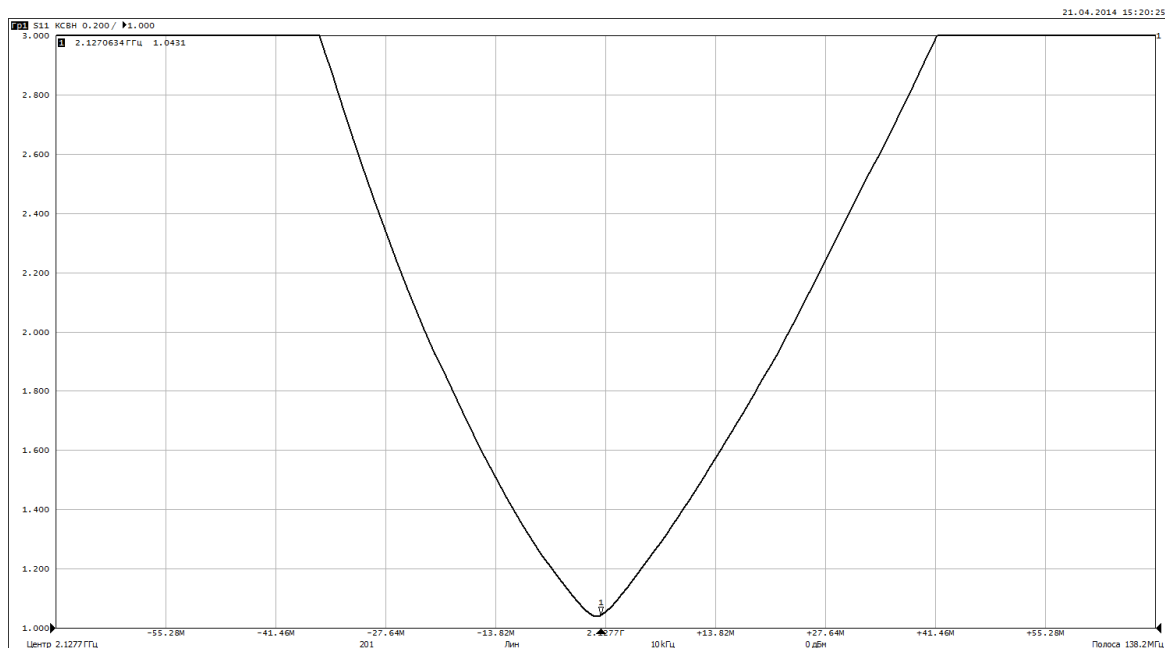


Рис. 7. КСВ МПА.

Данная антенна предназначена для применения в составе телекомандной системы КА.

Применение данных, полученных в ходе численного электродинамического моделирования, позволивших разработать методику согласования бортовых МПА различных конструкций, позволило сократить время разработки опытных образцов и получить приемлимые значения КСВ МПА.

Заключение

В данной работе представлены результаты исследования согласования микрополосковых антенн различных конструкций, представляющих интерес для разработчиков при проектировании малогабаритной, не выступающей антенной системы УКВ диапазона для класса малых космических аппаратов.

Для разработанных электродинамических моделей различных типов бортовых микрополосковых антенн определены частотные характеристики бортовых антенн, характеризующие степень согласования антенн с фидерным трактом, а также изложена методика параметрической оптимизации систем возбуждения микрополоскового излучателя, обеспечивающая требуемые характеристики антенны по согласованию.

Таким образом, предложенная методика согласования позволяет разработчикам бортовых антенн ускорить процесс разработки микрополосковых антенн.

Литература

1. Воскресенский Д.И., В.Л. Гостюхин, Максимов В.М., Пономарёв Л.И. Устройства СВЧ и антенны. М.: Радиотехника. 2008.
2. Виноградов А.Ю., Кабетов Р.В., Сомов А.М. Устройства СВЧ и малогабаритные антенны. М.: Горячая линия-Телеком. 2012.
3. Проблемы антенной техники / под ред. Л.Д. Бахраха, Д.И. Воскресенского. М.: Радио и связь. 1989.
4. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли / Севастьянов Н. Н., Бранец В. Н., Панченко В. А. [и др.] // Труды Московского физико-технического института. – Долгопрудный: ГОУВПО «Московский физико-технический институт», 2009. – Т. 1. – № 3. – С. 14–22.

5. Макриденко Л. А., Боярчук К. А. Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение. Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. 2005. Т. 102. С. 12–27.
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. 51–54.
7. Гаджиев Э.В. Пути построения малогабаритных, невыступающих бортовых антенно-фидерных систем космических аппаратов. Труды МАИ. 2014. № 76. С. 13.
8. Вейцель А.В., Вейцель В.А., Татарников Д.В. Аппаратура высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем: Высокоточные антенны. Специальные методы повышения точности позиционирования. М.: МАИ-ПРИНТ. 2010.
9. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь. 1986.
10. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Заявка на изобретение № 2014137527 от 16.09.2014 г. Способ создания микрополосковых антенн метрового диапазона и устройство, реализующее этот способ.
11. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Выбор диэлектрика подложки микрополосковой антенны при построении миниатюрной антенны. Антенны. 2014. № 12 (211). С. 38–44.
12. Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г., Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Моделирование бортовой микрополосковой антенны. Антенны. 2016. № 7 (227). С. 10–22.
13. 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.
14. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка прямоугольной микрополосковой антенны дециметрового диапазона для применения на космическом аппарате «Ионосфера». Труды МАИ. 2013. № 65. С. 34.
15. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка макета микрополосковой антенны метрового диапазона для перспективного применения на космическом аппарате «Ионосфера». Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 4 (16). С. 20–27.
16. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Бортовая антенная система КОСПАС–САРСАТ. В книге: Иосифьяновские чтения 2016. Тезисы докладов конференции. 2016. С. 20–23.