

МИНИАТЮРНЫЕ БОРТОВЫЕ АНТЕННЫ

А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев

В настоящее время актуальной и современной является задача по разработке малогабаритной, не выступающей, надёжной, простой и высокотехнологичной антенной системы для класса малых космических аппаратов. Для решения данной задачи предложен вариант применения микрополосковых антенн для построения бортовой антенной системы. В работе показаны особенности построения микрополосковых антенн метрового и дециметрового диапазонов. Рассмотрены и представлены известные способы миниатюризации антенн в этих диапазонах. Предложенный способ миниатюризации позволяет уменьшить габариты микрополосковой антенны в 2 – 2,5 раза по сравнению с существующими аналогами. Приведены результаты электродинамического моделирования микрополосковых антенн с использованием предложенного метода миниатюризации. Оценены такие параметры антенны, как коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления. Предложенные миниатюрные микрополосковые антенны разработаны для малого космического аппарата «Ионосфера».

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая антенна, микрополосковая антенна, подложка, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

Введение

Наблюдается активный процесс перехода от разработок и внедрения малых космических аппаратов (КА) вместо больших и тяжёлых КА, т. е. происходит процесс миниатюризации КА, что в свою очередь приводит к миниатюризации бортовой аппаратуры КА, в том числе и бортовых АФУ [1].

Тенденция перехода от больших КА к малым КА наблюдается не только в разработках отечественных предприятий, но также и у зарубежных фирм [2].

В качестве бортовой антенны для нового класса малых КА предложен вариант применения микрополосковых (печатных) антенн (МПА) [3].

Основными преимуществами МПА являются [4, 5]:

- высокая технологичность и повторяемость характеристик;
- низкая стоимость изготовления;
- простая конструкция;
- малая металлоёмкость, габаритные размеры и масса и т. д.

Целью работы является разработка миниатюрных бортовых МПА метрового и дециметрового диапазонов (УКВ диапазона) для класса малых и сверхмалых КА.

Особенности построения УКВ МПА

В работе [6] приведены расчётные соотношения для определения габаритных размеров излучателя антенны – ширины w и длины L :

$$w = \frac{c}{2f_p} \sqrt{\frac{2}{\epsilon + 1}}, \quad (1)$$

$$L = \frac{c}{2f_p \sqrt{\epsilon_{\text{эфф}}}}, \quad (2)$$

где c – скорость света; f_p – резонансная частота

излучения; ϵ – диэлектрическая проницаемость подложки; $\epsilon_{\text{эфф}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость, которая определяется по следующей формуле:

$$2\epsilon_{\text{эфф}} = \epsilon + 1 + (\epsilon - 1) \left(1 + 10 \frac{h}{w}\right)^{-1/2}, \quad (3)$$

где h – толщина подложки.

При разработке МПА сантиметрового диапазона волн ($0,1 \text{ м} < \lambda < 0,01 \text{ м}$), габариты таких антенн приемлемы для их применения в качестве бортовых антенн КА (примерно от 0,03 м до 0,015 м при построении МПА квадратной формы), в виду того, что используемые рабочие частоты достаточно высоки, а влияние используемого диэлектрика с любым значением диэлектрической проницаемости ϵ на габариты антенн минимально [7].

Однако, при разработке МПА в метровом ($10 \text{ м} < \lambda < 1 \text{ м}$) и дециметровом ($1 \text{ м} < \lambda < 0,1 \text{ м}$) диапазонах волн получаемые габариты антенн не приемлемы, например (примерно от 0,4 м до 0,6 м при построении МПА квадратной формы). Данный факт приводит к отказу от применения МПА указанных диапазонов волн в качестве бортовых антенн малых КА в виду того, что, как правило, поверхность малого КА, на которой возможно размещение бортовых АФУ и всей целевой аппаратуры, составляет площадь не более в 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$), а в некоторых случаях и меньше.

Поэтому использование МПА метрового и дециметрового диапазонов волн с такими габаритами не приемлемо для их применения в качестве бортовых антенн малых КА.

Таким образом, необходимо рассмотреть возможные способы миниатюризации МПА дециметрового и метрового диапазонов для применения таких антенн в качестве бортовых антенн малых КА.

Способы миниатюризация УКВ МПА

В работе [8] описан способ укорочения антенн за счёт увеличения диэлектрической проницаемости подложки. А в [9] описан способ укорочения антенн за счёт увеличения толщины h и значения коэффициента диэлектрической проницаемости ϵ материала подложки.

Недостатком данных способов является то, что с увеличением значения диэлектрической проницаемости подложки растёт добротность антенны, а, следовательно, сужается полоса рабочих частот. А увеличение толщины антенны несёт за собой конструктивные сложности размещения на поверхности КА и увеличение массогабаритных показателей.

В работе [10] рассмотрены другие варианты миниатюризации:

- использование многосвязных структур;
- формирование в металлизации антенного элемента вырезов (щелей).

Недостатками приведённых способов являются усложнение конструктива антенны и сложность её изготовления.

Ещё один способ, использующий продольную свёртку топологии антенны для миниатюризации габаритов, описан в работе [11]. Недостатком данного способа является сложность исполнения антенны на практике.

Известен способ создания миниатюрной антенны за счёт использования многослойной структуры подложки, представленный в [12]. На рис. 1 представлена МПА, где 1 – импедансная двухзаходная спираль с логарифмической намоткой, 2 – изотропный металлический экран, 3, 4, 5 – слои

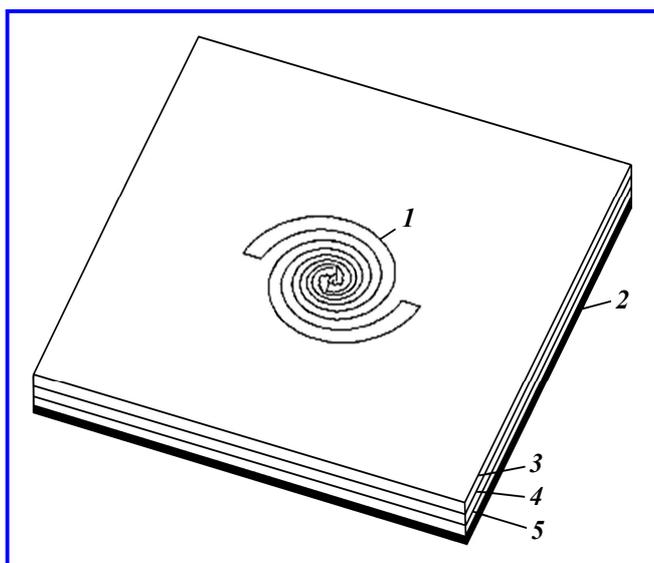


Рис. 1. Микрополосковая спиральная антенна с двухсторонней круговой поляризацией

четвертьволновой подложки с линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансной спирали волновым сопротивлением.

В данном способе для уменьшения габаритов МПА предлагается применение не менее трёх слоёв диэлектрической подложки, причем все слои должны быть согласованы по волновому сопротивлению. Общая толщина слоёв должна быть равной четверти длины волны излучения, а каждый слой выполнен с уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости излучателя волновым сопротивлением. Этот способ обеспечивает работу антенны в широком диапазоне частот при габаритных размерах, меньших длины волны.

Недостатком данного способа является его сложность применения из-за многослойности структуры подложки, необходимости согласования волнового сопротивления между слоями, сложностью изготовления.

Способ миниатюризации

Из представленных формул (1) и (2), видно, что на габариты МПА влияют два параметра:

- рабочая (резонансная) частота антенны;
- диэлектрическая проницаемость подложки.

В нашем случае рабочая частота задана, поэтому для изменения габаритов МПА можно использовать изменение значения диэлектрической проницаемости подложки.

В настоящий момент существует широкая линейка материалов, которые можно использовать в качестве материала подложки МПА [13]. Значение ϵ в пределах от 2,8 до 32.

Однако необходимо учитывать, что применение материала подложки с большим значением диэлектрической проницаемости значительно повышает концентрацию электрического поля ближней зоны антенны, что приводит к низкой интенсивности излучения из-за большого реактивного поля и узкой полосы пропускания, а это является существенным недостатком.

Также необходимо учитывать тот факт, что немаловажную роль играет такой параметр материала подложки, как тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$, который влияет на КПД антенны.

При выборе толщины диэлектрика h необходимо исходить из предъявляемых требований по электрическим и механическим параметрам к бортовым АФУ КА. В нашем случае целесообразно использовать толщину антенны h в пределах $(0,1 - 0,01) \lambda$, где λ – длина рабочей волны.

Для миниатюризации МПА дециметрового диапазона предложен вариант с применением ма-

териала диэлектрической подложки с оптимальными характеристиками (диэлектрической проницаемостью ϵ от 8 до 16) и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ от 10^{-3} до 10^{-5}), а также толщину диэлектрика h в пределах $(0,1 - 0,01) \lambda$. Предложенный способ позволяет уменьшить габариты МПА дециметрового диапазона в тоже время, не усложняя её конструкцию.

Однако данный способ не обеспечивает существенную миниатюризацию МПА *метрового диапазона*.

Для удобства анализа перепишем формулы (1) и (2), используя соотношение $c = \lambda \times f$ (где λ – длина волны):

$$w = \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{2}{(\epsilon + 1)}}, \quad (4)$$

$$L = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{\text{эфф}}}}. \quad (5)$$

Из полученных выражений (4) и (5) видно, что применение полуволновых МПА метрового диапазона не приемлемо в качестве бортовых антенн малых КА из-за габаритов.

Предложен вариант изменения конструкции МПА за счёт введения закорачивающего элемента [14]. На рис. 2 приведены варианты построения закороченных МПА.

Выбран вариант построения закороченной антенны с закорачивающей стенкой (см. рис. 2), так как данный вариант наиболее простой, надёжный и не ухудшает прочность конструкции антенны. Предложенный вариант построения МПА позволяет разрабатывать четвертьволновые МПА метрового диапазона, а, как известно [15], четвертьволновые антенны имеют меньшие габариты по сравнению с полуволновыми антеннами.

Учитывая вариант построения закороченных МПА, формулы (4) и (5) преобразуются:

$$\omega \approx \frac{c}{4f_p} \sqrt{\frac{2}{(\epsilon + 1)}}. \quad (6)$$

$$L \approx \frac{c}{4f_p \sqrt{\epsilon_{\text{эфф}}}}. \quad (7)$$

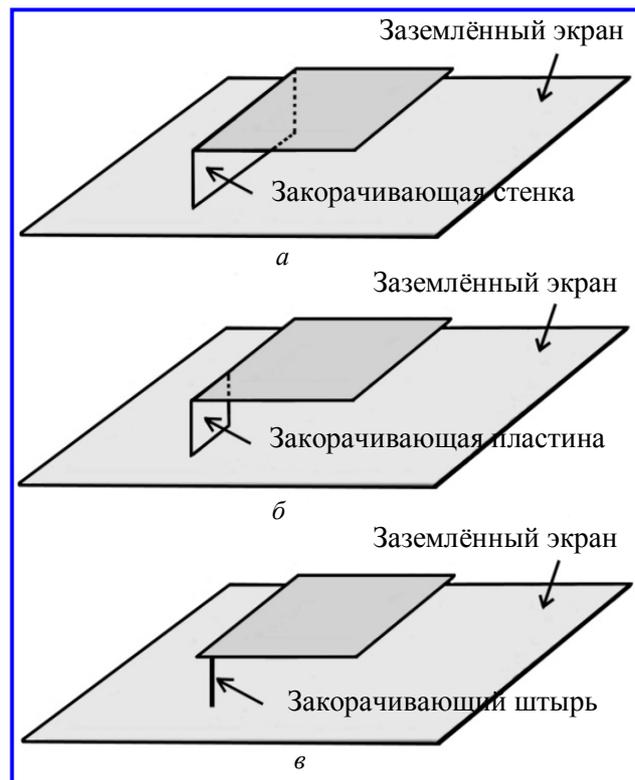


Рис. 2. Варианты построения закороченных МПА с помощью: а – закорачивающей стенки; б – закорачивающей пластины; в – закорачивающего штыря

В качестве материала диэлектрика подложки выбор сделан в пользу применения фольгированного листового арилокса наполненного (ФЛАН), основные характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики ФЛАН

Характеристики материала	Обозначение материала					
	ФЛАН-2,8	ФЛАН-3,8	ФЛАН-5	ФЛАН-7,2	ФЛАН-10	ФЛАН-16
Диэлектрическая проницаемость ϵ	$2,8 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,1$	$5,0 \pm 0,2$	$7,2 \pm 0,3$	$10 \pm 0,5$	$16 \pm 0,8$
Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$	0,0015	0,0012	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Плотность без фольги, г/см ³	$1,2 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$	$1,55 \pm 0,1$	$1,85 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,1$

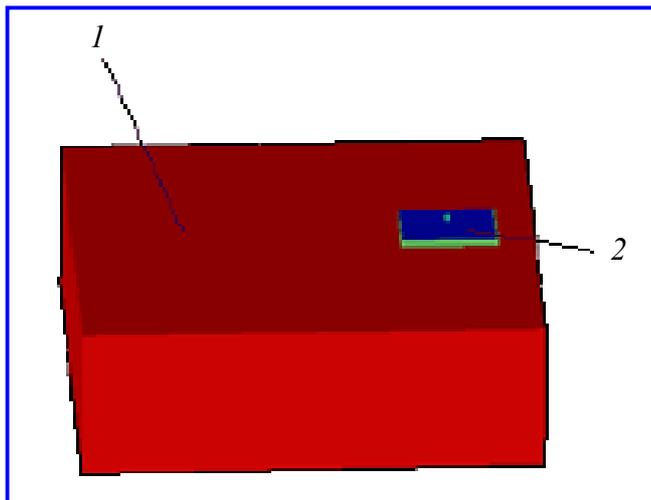


Рис. 3. Моделирование антенной системы малого КА «Ионосфера»: 1 – корпус КА «Ионосфера»; 2 – модель МПА

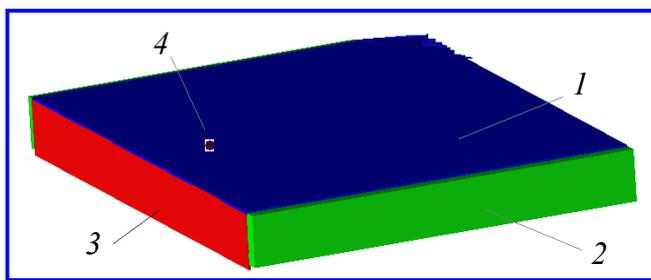


Рис. 4. Модель МПА 150 МГц: 1 – излучатель; 2 – подложка; 3 – короткозамыкатель; 4 – точка запитки

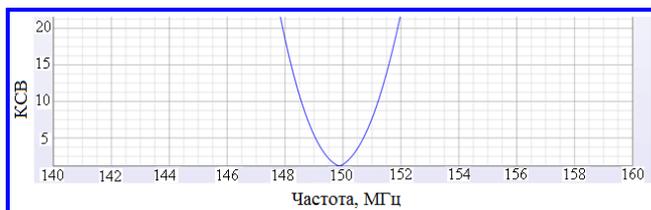


Рис. 5. КСВ модели МПА 150 МГц

ФЛАН обладает следующими важными свойствами [16]:

- большим диапазоном значений диэлектрической проницаемости ϵ (от 2,8 до 16);
- низким значением тангенса диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ (0,0015);
- высокой механической прочностью;
- высокая температуростойкость;
- радиационностойкий и т. д.

Таким образом, при построении миниатюрных бортовых УКВ МПА предложен вариант применения антенны с закороченной конструкцией и с использованием металлизированного диэлектрика диэлектрической проницаемостью ϵ в пределах от

8 до 16 и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ от 10^{-3} до 10^{-5} [17]. Данный способ позволяет разрабатывать МПА УКВ диапазона, обладающие более простой и надёжной конструкцией, а также габаритами в 2 – 2,5 раза меньше по сравнению с существующими аналогами.

Применение метода

Для малого КА «Ионосфера» в АО «НИИЭМ» разработана антенная система, состоящая из трёх антенн [18]. Рассмотрен вариант построения антенной системы данного КА с помощью МПА.

В ходе моделирования антенной системы малого КА «Ионосфера» был применен метод конечных элементов. Стоит отметить, что при моделировании не учитывалось влияние на параметры антенн целевой аппаратуры, расположенной на КА, т.е. при моделировании на поверхности КА были расположены только модели разрабатываемых МПА, как показано на рис. 3.

Тем самым удалось сократить временные затраты на процесс моделирования антенн и обработку характеристик направленности.

В качестве материала подложки антенны используется ФЛАН-10, т.е. $\epsilon = 10$; $\text{tg}\delta = 1,5 \times 10^{-3}$ (см. табл. 1).

Исходя из требований к антенне бортового двухчастотного передатчика «МАЯК 150/400» [18], были рассчитаны габариты МПА на рабочей частоте 150 МГц (МПА 150 МГц) [19]. Модель самой антенны представлена на рис. 4.

На рис. 5 представлена зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) такой модели от частоты.

Далее получены диаграммы направленности (ДН) модели МПА 150 МГц, представленные на рис. 6.

На рис. 7 приведена зависимость коэффициента усиления (КУ) модели МПА 150 МГц.

Исходя из требований к антенне бортового двухчастотного передатчика «МАЯК 150/400» [18], были рассчитаны габариты МПА на рабочей частоте 400 МГц (МПА 400 МГц) [20]. Модель самой антенны представлена на рис. 8.

На рис. 9 представлена зависимость КСВ данной модели.

В работе [21] представлены результаты исследования влияния места расположения точки возбуждения МПА на КСВ при использовании предложенных конструкций с одним закорачивающим элементом, а также с применением диэлектрика с большим значением диэлектрической проницаемости.

На рис. 10 представлена ДН МПА 400 МГц.

На рис. 11 представлен КУ МПА 400 МГц.

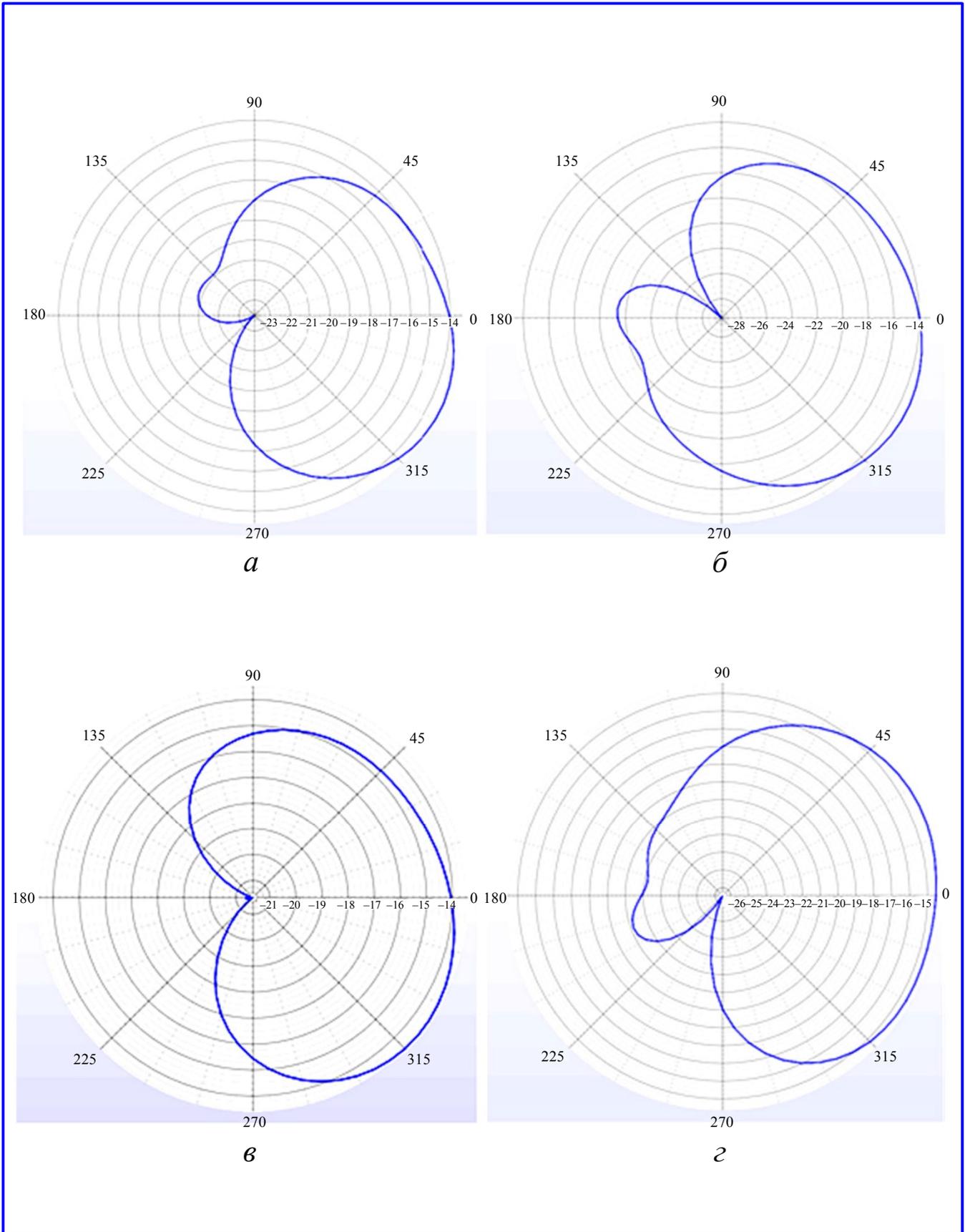


Рис. 6. ДН модели МПА 150 МГц: *a* – при $\varphi = 0^\circ$; *б* – при $\varphi = 45^\circ$; *в* – при $\varphi = 90^\circ$; *г* – при $\varphi = 135^\circ$

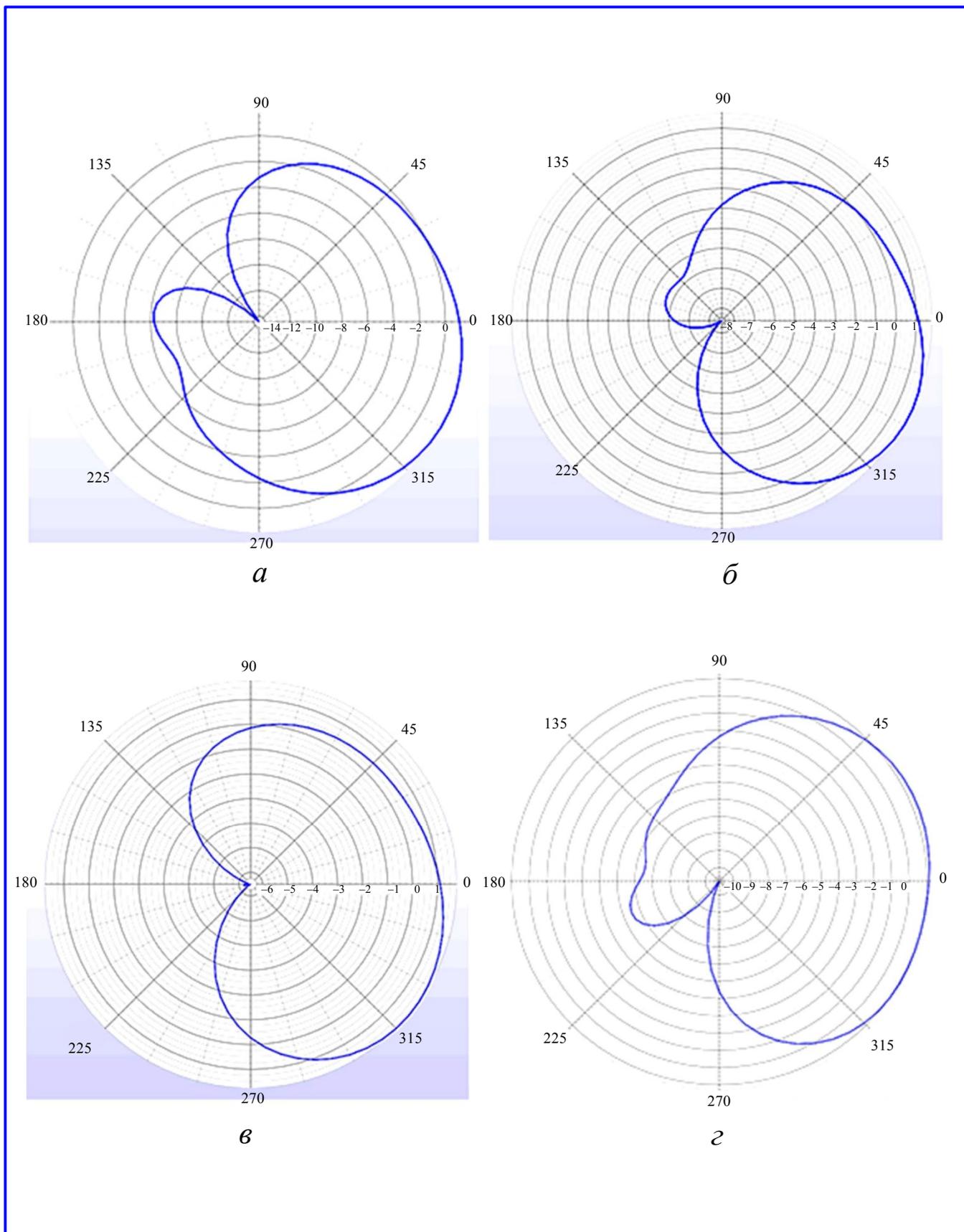


Рис. 7. КУ модели МПА 150 МВт: *a* – при $\varphi = 0^\circ$; *б* – при $\varphi = 45^\circ$; *в* – при $\varphi = 90^\circ$; *г* – при $\varphi = 135^\circ$

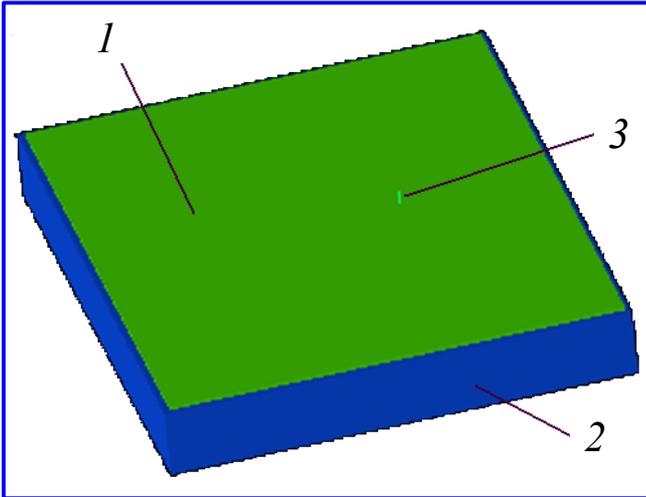


Рис. 8. Модель МПА 400 МГц: 1 – излучатель; 2 – подложка; 3 – точка возбуждения

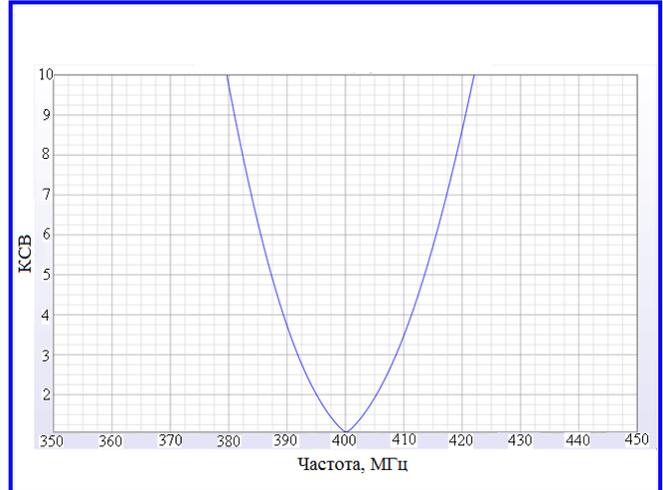


Рис. 9. КСВ модели МПА 400 МГц

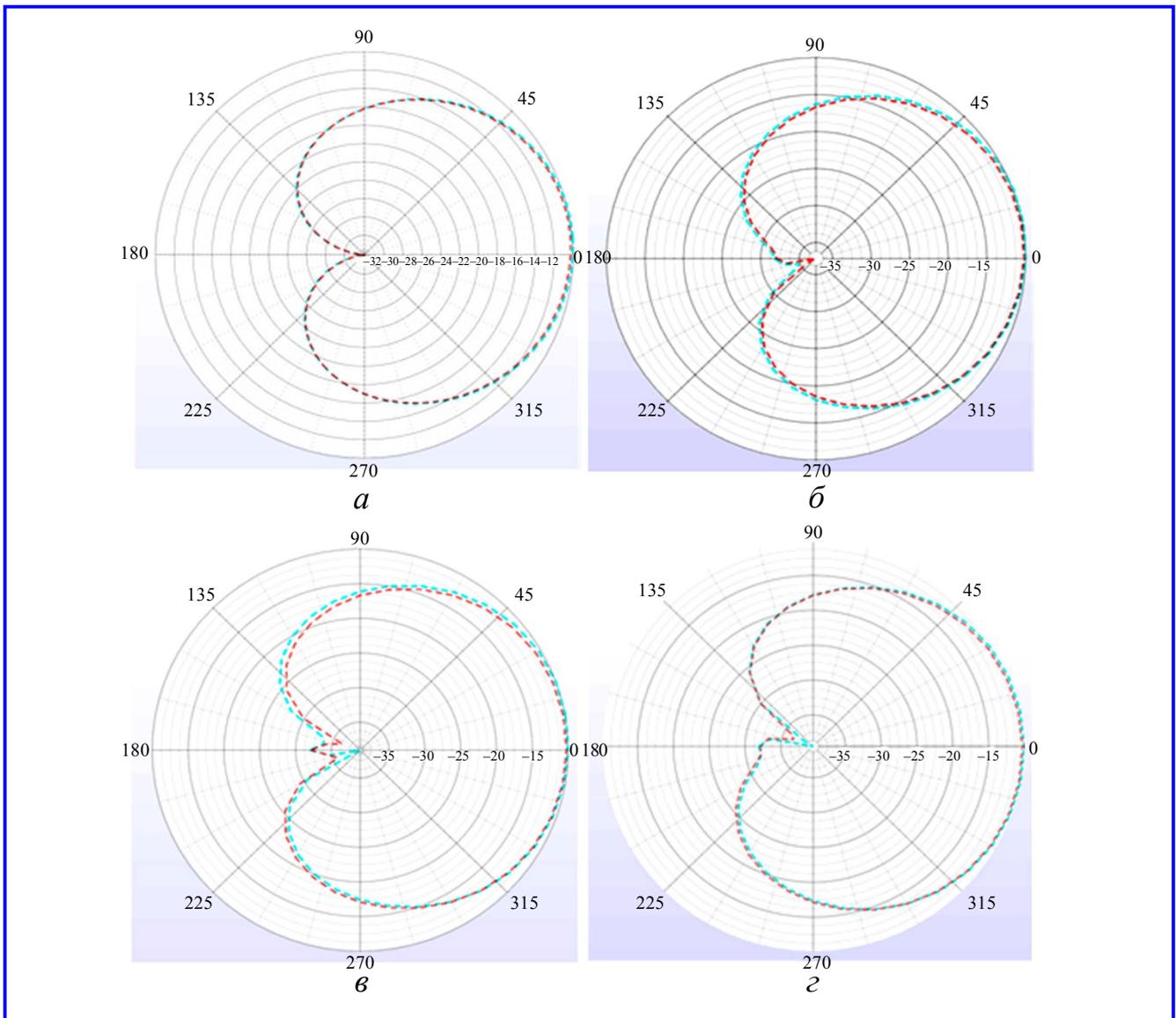


Рис. 10. ДН модели МПА 400 МГц: а – при $\varphi = 0^\circ$; б – при $\varphi = 45^\circ$; в – при $\varphi = 90^\circ$; г – при $\varphi = 135^\circ$

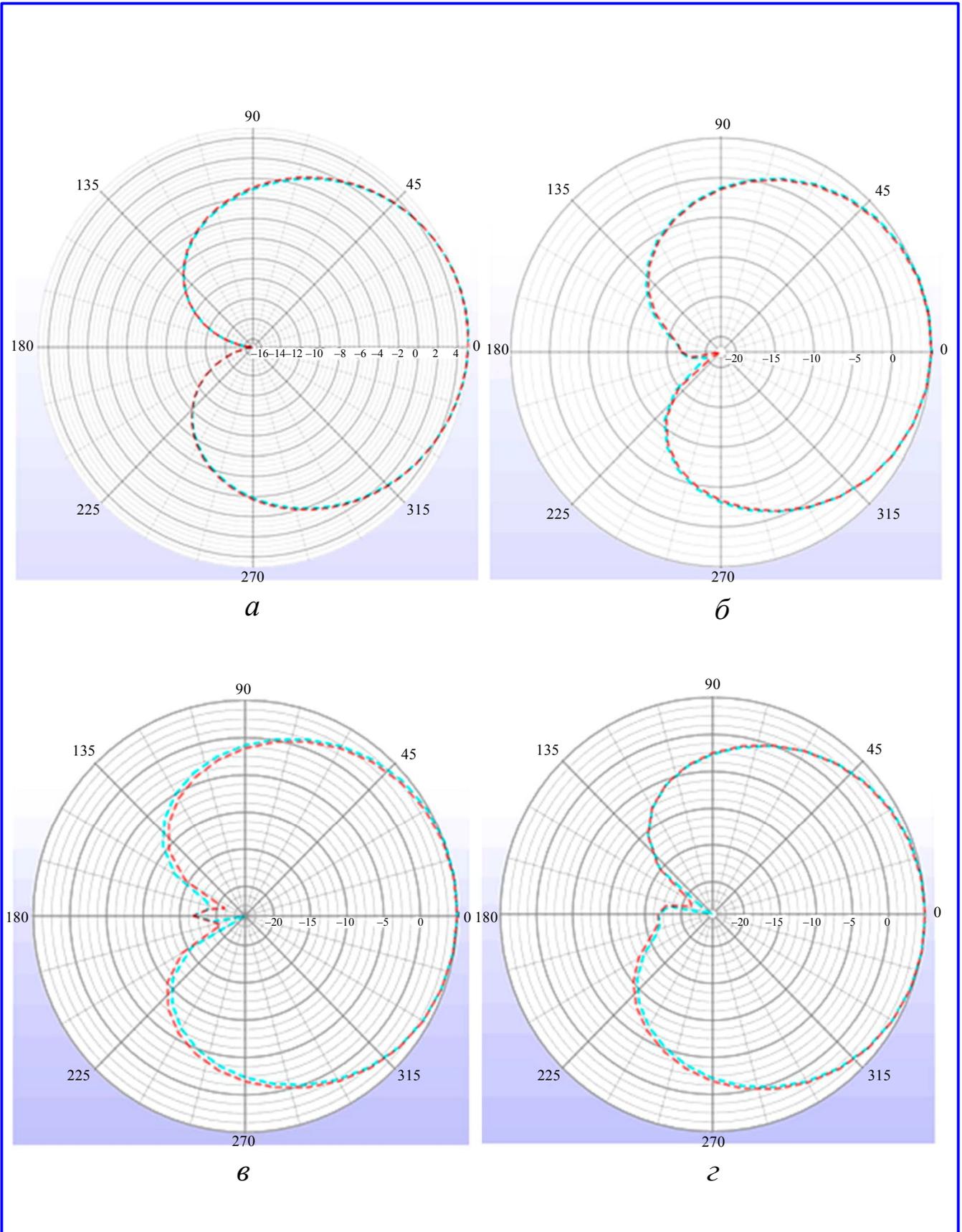


Рис. 11. КУ модели МПА 400 МГц: *a* – при $\varphi = 0^\circ$; *б* – при $\varphi = 45^\circ$; *в* – при $\varphi = 90^\circ$; *г* – при $\varphi = 135^\circ$

Таблица 2

Результаты моделирования

№ п/п	Параметры оценки	Модель антенны	
		МПА 150 МГц	МПА 400 МГц
	Габариты, мм	220 × 165 × 20 □	148 × 125 × 20
	КСВ	1,1	1,1
	Полоса частот по уровню КСВ = 2, МГц	±2	±7,5
	ДН	ДН модели обеспечивает преимущественное излучение в направлении на центр Земли в пределах 0°–45° от надира и 0°–360° по азимуту	ДН модели обеспечивает преимущественное излучение в направлении на центр Земли в пределах 0°–45° от надира и 0°–360° по азимуту
	КУ	плюс 1 дБ в направлении максимума излучения и плюс 0,5 дБ в секторе углов ±45°	плюс 5 дБ в направлении максимума излучения и плюс 2 дБ в секторе углов ±45°

Наличие искажений и несимметричности ДН моделей, особенно в случае с МПА 150 МГц, вызвано влиянием корпуса малого КА «Ионосфера» а также месторасположением самих моделей на поверхности КА.

Таким образом, в ходе моделирования были получены следующие результаты, которые приведены в табл. 2 [22, 23].

Заключение

В данной работе проведён и представлен обзор существующих способов миниатюризации МПА УКВ диапазона. В ходе анализа представленного обзора показаны недостатки при их применении для построения бортовой антенны.

Предложен способ миниатюризации МПА метрового и дециметрового диапазонов (УКВ диапазона), позволяющий разработать миниатюрную, с простой конструкцией, не требующей дополнительных действий при настройке, надёжную бортовую МПА [24].

Применение предложенного способа нашли и на практике при построении бортовых антенн для сверхмалого КА «CubeSat» [25], бортовой антенной системы для малого КА «Ионосфера» [26], а также вспомогательной антенны для международной поисково-спасательной системы КОСПАС–САРСАТ [27].

Литература

1. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Миниатюризация бортовых антенно-фидерных устройств космических аппаратов / В. С. Бочаров и др. // Сборник тезисов научно-технического семинара «Перспективы

развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов». – Истра: ОАО «НИИЭМ». – 2013. – С. 51 – 54.
 2. Макриденко Л. А., Волков С. Н., Геча В. Я., Жилёнов М. Ю., Казанцев С. Г. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения. Аналитический обзор по зарубежным источникам / Л. А. Макриденко и др. // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – № 2. – Т. 157. – С. 12 – 31.
 3. Гаджиев Э. В. Возможность применения микрополосковых антенн на космических аппаратах // Сборник тезисов докладов Московской молодёжной научно-практической конференции «Инновации в авиации и космонавтике – 2012». – М. : ООО «Принт-салон», 2012. – С. 87 – 88.
 4. Панченко Б. А., Нефёдов Е. И. Микрополосковые антенны / Б. А. Панченко, Е. И. Нефёдов. – М. : Радио и связь, 1986. – 144 с.
 5. Нефёдов Е. И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: Учеб. Пособие. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
 6. 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.
 7. Современная теория и практические применения антенн / В. А. Неганов, Д. П. Табаков, Г. П. Яровой. – М. : Радиотехника, 2009. – 720 с.
 8. Петров А. С. Оценка характеристик миниатюрных печатных антенн // Антенны. – 2013. – Вып. 3 (190). – С. 22 – 29.
 9. Чебышев В. В. Микрополосковые антенны в многослойных средах. – М. : Радиотехника, 2007. – 160 с.
 10. Бойко С. Н., Косякин С. В., Кухаренко А. С., Яскин Ю. С. Миниатюризация антенных модулей навигационной аппаратуры спутниковых навигационных систем // Антенны. – 2013. – Вып. 12 (199). – С. 38 – 43.

11. Банков С. Е., Давыдов А. Г., Папилов К. Б. Малогабаритные печатные антенны круговой поляризации // Журнал радиоэлектроники. – 2010. – № 8. – С. 1 – 27.
12. Елизаров А. А., Закирова Э. А. Микрополосковая спиральная антенна с двусторонней круговой поляризацией. Патент на полезную модель № 133655 от 28.02.2013 г.
13. 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.
14. Antenna theory: analysis and design / Constantine A. Balanis. – 2-nd ed. – Wiley-Interscience, 1997. – 959 p.
15. Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л., Максимов В. М., Пономарёв Л. И. Устройства СВЧ и антенны. М. : Радиотехника, 2008. – 384 с.
16. Проектирование полосковых устройств. Учебное пособие. – Ульяновский государственный технический университет, 2001. – 129 с.
17. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Способ создания микрополосковых антенн метрового диапазона и устройство, реализующее этот способ. Патент на изобретение № 2583334 от 16.09.2014 г.
18. 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.
19. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Разработка прямоугольной микрополосковой антенны метрового диапазона (150 МГц) для применения на космическом аппарате «Ионосфера» // Материалы первой молодёжной конференции «Инновационная деятельность в науке и технике». – Истра: ОАО «НИИЭМ», 2012. – С. 23 – 24.
20. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Разработка модели микрополосковой антенны дециметрового диапазона для перспективного использования на КА «Ионосфера» // Сборник тезисов докладов Московской молодёжной научно-практической конференции «Инновации в авиации и космонавтике – 2013». – М.: ООО «Принт-салон», 2013. – С. 218 – 219.
21. 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.
22. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Разработка прямоугольной микрополосковой антенны дециметрового диапазона для применения на космическом аппарате «Ионосфера». В книге: 11-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2012» // Тезисы докладов. – 2012. – С. 252 – 253.
23. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. design of microstrip antennas for dual-frequency on-board transmitter 'MAYAK 150/400'. В сборнике: CriMiCo 2013 - 2013 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings 2013. – С. 582 – 583.
24. Гаджиев Э. В. Миниатюрные УКВ микрополосковые антенны. Инновационный арсенал молодёжи: труды седьмой научно-технической конференции ФГУП «КБ «Арсенал», Балт. Гос. Тех. Ун-т. – СПб. : Изд-во Инфода, 2016. – С. 51 – 52.
25. Гаджиев Э. В. Миниатюрные антенны для малых космических аппаратов «CubeSat». Сборник тезисов IV научно-технической конференции «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем» «ИСС» им Решетнёва. – Красноярск: Изд-во «Sitall». – 2017. – С. 27 – 29. <https://ntk.iss-reshetnev.ru/index/collection.pdf>.
26. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Миниатюризация антенной системы космического аппарата «Ионосфера» // Антенны. – 015. – № 3 (214). – С. 32 – 38.
27. Бочаров В. С., Генералов А. Г., Гаджиев Э. В. Бортовая антенная система КОСПАС – САРСАТ // Иосифьяновские чтения 2016 // Тезисы докладов конференции. – 2016. – С. 20 – 23.

Поступила в редакцию 20.11.2017

*Александр Георгиевич Генералов, начальник лаборатории.
Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
т. (495) 994 55 57.
E-mail: otd24@niiem.ru.
(Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики»).*

ON-BOARD MINI ANTENNAS

A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev

At present the development of a small, flat, reliable, simple and high-technology antenna system for small satellites is an urgent modern challenge. To address this challenge the use of microstrip antennas for constructing an on-board antenna system is suggested. The article describes the features of VHF and UHF microstrip antennas construction. The known methods of miniaturizing the antennas operating in these frequency bands are represented and examined. The suggested miniaturizing method allows decreasing dimensions of a microstrip antenna by 2 – 2.5 times as compared to existing analogous antennas. The article contains the results of electrodynamic modeling of microstrip antennas using the suggested miniaturizing method. Such antenna parameters as the standing wave ratio, radiation pattern and gain are evaluated. The suggested microstrip mini antennas have been designed for the Ionosphere small satellite.

Key words: satellite, on-board antenna, microstrip antenna, substrate, standing wave ratio, radiation pattern, gain.

List of References

1. Bocharov V. S., Generalov A.G., Gadzhiev E.V. Miniaturizing of satellite on-board antenna feeder devices / V. S. Bocharov et al. // Collection of theses of the Scientific and Research Seminar 'Prospects for the development of satellite antenna feeder devices'. – Istra: 'NIIEM' JSC. – 2013. – Pp. 51 – 54.
2. Makridenko L. A., Volkov S. N., Gecha V. Ia., Zhilenev M. Iu., Kazantsev S. G. Earth remote sensing satellites of high spatial resolution. Analytical review of foreign sources / L. A. Makridenko et al. // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2017. – No. 2. – Vol. 157. – Pp. 12 – 31.
3. Gadzhiev E. V. Possibility of microstrip antenna application for satellites // Collection of report theses of the Moscow Youth Research and Practice Conference «Innovations in Aviation and Cosmonautics – 2012». – Moscow : « JSC Print Salon», 2012. – Pp. 87 – 88.
4. Panchenko B. A., Nefedov E. I. Microstrip antennas / B. A. Panchenko, E. I. Nefedov. – Moscow : Radio and communications, 1986. – 144 p.
5. Nefedov E. I. Radio wave propagation and antenna feeder devices: Textbook. – Moscow : Publishing House 'Academia', 2010. – 320 p.
6. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Design of a rectangular microstrip VHF 150 MHz antenna for the Ionosphere satellite // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2013. Vol. 136. – No. 5. – Pp. 15 – 18.
7. Modern theory and practical application of antennas / V.A. Neganov, D.P. Tabakov, G.P. Iarvoi. – Moscow : 'Publishing house Radiotekhnika', 2009. – 720 p.
8. Petrov A. S. Evaluation of printed mini antenna characteristics // Antennas. – 2013. – Issue 3 (190). – pp. 22 – 29.
9. Chebyshev V. V. Microstrip antennas in multilayered media. – Moscow : 'Publishing house Radiotekhnika', 2007. – 160 p.
10. Boiko S. N., Kosiakin S. V., Kukhareno A. S., Iaskin Iu. S. Miniaturizing of antenna modules of navigation equipment of satellite navigation systems // Antennas. – 2013. – Issue 12 (199). – Pp. 38 – 43.
11. Bankov S. E., Davydov A. G., Papilov K. B. Small printed circularly polarized antennas // Journal of Radio Electronics. – 2010. – No. 8. – Pp. 1 – 27.
12. Elizarov A. A., Zakirova E. A. Microstrip helical dual circular polarization antenna. Useful model patent No. 133655 of 28.02.2013.
13. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Selection of a dielectric to be used as a microstrip antenna substrate during the mini antenna construction // Antennas. – 2014. – No. 12 (211). – Pp. 38 – 44.
14. Antenna theory: analysis and design / Constantine A. Balanis. – 2-nd ed. – Wiley-Interscience, 1997. – 959 p.
15. Voskresenskii D. I., Gostiukhin V. L., Maksimov V. M., Ponomarev L. I. UHF devices and antennas. Moscow : 'Publishing house Radiotekhnika', 2008. – 384 p.
16. Strip device designing. Textbook. – Ulyanovsk State Technical University, 2001. – 129 p.
17. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Method of microstrip VHF antenna development and device implementing this method. Patent of invention No. 2583334 of 16.09.2014.
18. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Antenna system of the Ionosphere satellite // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2012. – Vol. 131. – No. 6. – Pp. 11 – 14.
19. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Design of a rectangular microstrip VHF 150 MHz antenna for the Ionosphere satellite // Proceedings of the First Youth Conference 'Innovation Activity in Science and Engineering'. – Istra: 'NIIEM' JSC, 2012. – Pp. 23 – 24.
20. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E.V. Design of a rectangular microstrip UHF antenna for future application for the Ionosphere satellite // Collection of report theses of the Moscow Youth Research and Practice Conference 'Innovations in Aviation and Cosmonautics – 2013'. – Moscow : 'Print Salon' JSC, 2013. – Pp. 218 – 219.
21. Ovchinnikova E. V., Kondrateva S. G., Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. On-board microstrip antenna modeling // Antennas. – 2016. – No. 7 (227). – Pp. 10 – 22.
22. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Design of a rectangular microstrip UHF antenna for the Ionosphere satellite. Published in 'The 11th International Conference 'Aviation and Cosmonautics – 2012' // Report theses. – 2012. – Pp. 252 – 253.
23. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Design of microstrip antennas for dual-frequency on-board transmitter 'MAYAK 150/400'. В сборнике: CriMiCo 2013 -2013 23rd International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings 2013. – Pp. 582 – 583.
24. Gadzhiev E. V. Microstrip VHF mini antennas. Innovative Arsenal of Youth: Proceedings of the Seventh Scientific-Technical Conference at FSUE 'Design Bureau 'Arsenal', Baltic State Technical University. – St. Petersburg : Publishing House 'Info-da', 2016. – Pp. 51 – 52.
25. Gadzhiev E. V. Mini antennas for small satellites 'CubeSat'. Collection of theses of the IV Science and Research Youth Conference 'Development, production, testing and operation of spacecraft and spacecraft systems' at ISS Reshetnev. – Krasnoyarsk: Publishing House 'Sitall'. – 2017. – Pp. 27 – 29. <https://ntk.iss-reshetnev.ru/index/collection.pdf>.
26. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Miniaturizing of the Ionosphere satellite antenna system // Antennas. – 015. – No. 3 (214). – Pp. 32 – 38.
27. Bocharov V. S., Generalov A. G., Gadzhiev E. V. Cospas-Sarsat on-board antenna system // Iosifian Readings 2016 // Conference report theses. – 2016. – Pp. 20 – 23.

Aleksandr Georgievich Generalov, Head of Laboratory.

Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher,
tel.: +7 (495) 994-55-57, e-mail: otd24@niiem.ru.

(JSC «Scientific Research Institute of Electromechanics» (JSC «NIIEM»)).