

УДК 621.396.67

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИКОНИЧЕСКИХ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН

В. Н. Семенов¹, К. М. Басков¹, Д. И. Акимов¹, А. А. Политико¹,
В. А. Чистяев¹, Н. И. Бобков²

¹Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук,
125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13

²АО «Всероссийский научно-исследовательский институт «Градиент»,
344010, г. Ростов-на-Дону, Проспект Соколова, д.96

Статья поступила в редакцию 8 августа 2018 г., после доработки – 3 сентября 2018 г.

Аннотация. Предложена конструкция антенны для систем сверхширокополосной радиосвязи и радиомониторинга. Показано, что применение магнитного радиопоглощающего материала с высокими магнитными потерями в метровом и дециметровом диапазонах длин волн способствует эффективному подавлению электрического тока, наводимого на металлическом держателе антенны, что позволяет повысить равномерность диаграммы направленности антенны. Представлены численные исследования характеристик излучения и согласования несимметричной поликонической вибраторной антенны. Исследованы и предложены различные варианты радиопоглощающего материала для достижения оптимальных значений этих характеристик.

Ключевые слова: поликоническая вибраторная антенна, сверхширокополосная антенна, радиопоглощающий материал, диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны.

Abstract. The research of ultra-broadband emitters is of great importance due to the development of ultra-broadband radio communication and radio monitoring systems. One of the most common ultra-broadband antennas is a biconical vibration antenna. The paper deals with the investigation of polyconic vibration antenna mounted on the metallic rod holder. Primary numerical simulations showed that the metallic rod

holder has a strong influence on the antenna radiation pattern at the working frequency band from 250 to 1000 MHz. It was proposed to apply to the metallic rod holder a layer of radar absorbing material (RAM), which filled with coarse-grained magnetic soft powder, with high magnetic losses in the range of meter and decimeter wavelengths. It was shown that the application of new RAM decreases the level of electric current on the metallic rod holder that leads to improvement of antenna characteristics. The research of the polyconic antenna was performed for the configurations when a single-layer and a two-layer RAMs are applied. The single-layer RAM consists of the only coarse-grained magnetic soft powder RAM and the two-layer RAM consists of the coarse-grained magnetic soft powder RAM as well as a traditional magnetic RAM based on modified carbonyl iron powder. The antenna characteristics was optimized by the calculation of thicknesses of the layers using the computational electromagnetics software FEKO. The optimization has been reached using both the single-layer RAM of 5 mm and the two-layer RAM of 10 mm, where the thickness of the first layer of coarse-grained magnetic soft powder RAM is 4,5 mm, the second layer of modified carbonyl iron powder RAM is 5,5 mm. Also the application of RAMs allows us to decrease standing wave ratio of the polyconic antenna that extends the working frequency band.

Key words: polyconic antenna, broadband antenna, radiation-absorbent material, radiation pattern, standing wave ratio.

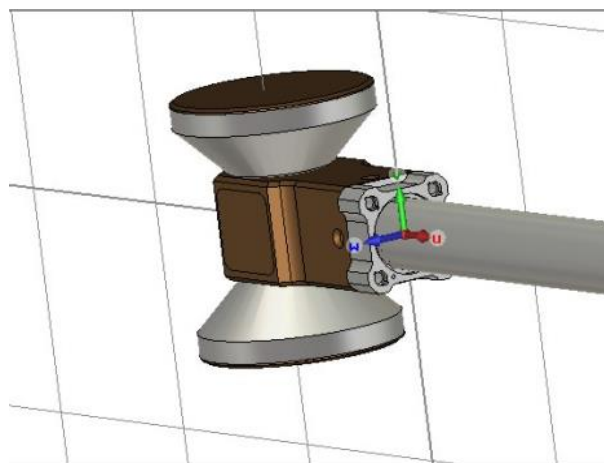
1. Введение

В связи с развитием систем широкополосной радиосвязи и мониторинга электромагнитной обстановки актуальной задачей является разработка излучателей, формирующих ненаправленное излучение в вертикальной плоскости в полосе частот шириной в несколько октав. Одной из распространенных сверхширокополосных антенн, применяемых в системах радиосвязи и мониторинга, является биконическая вибраторная антенна с точкой питания в вершинах конусов вибратора [1-2].

Наиболее часто для установки биконических вибраторов в составе кольцевой антенной решетки средств радиомониторинга применяются кронштейны в виде радиальных металлических труб, как показано на рис. 1а. Симметричный вибратор (рис. 1б) подключается к несимметричному коаксиальному фидеру посредством ферритового симметрирующего устройства.



а)



б)

Рис. 1. Вибраторные излучатели в составе кольцевой антенной решетки на радиальных металлических кронштейнах (а) и биконический вибратор на кронштейне в диэлектрическом корпусе-держателе (б).

Такой способ установки антенны имеет ряд недостатков, из которых наиболее значимыми являются: 1) симметрирующее устройство, предназначенное для подключения биконического вибратора к коаксиальному фидеру, ограничивает полосу рабочих частот; 2) корпус-держатель из плотного диэлектрика с высоким значением диэлектрической проницаемости и горизонтальная металлическая труба искажают как амплитудные, так и фазовые диаграммы направленности вибраторов.

2. Конфигурация вибраторной антенны

Практическое применение может получить свободная от указанных недостатков антенна в виде несимметричного поликонического вибратора, установленного на вертикальный металлический стержень (рис. 2). Нижний

конус вибратора установлен на вертикальный металлический стержень, а верхний конус удерживается осесимметричным пенопластовым обтекателем с низким значением диэлектрической проницаемости. Питание вибратора осуществляется путем непосредственного подключения верхнего конуса к центральному проводнику, а нижнего конуса – к внешнему проводнику коаксиального фидера, проложенного внутри металлического держателя.

Различие в размерах и конфигурации верхнего и нижнего конусов обусловлено необходимостью подъема максимума диаграммы направленности (ДН) в вертикальной плоскости. Использование вибраторов поликонической формы, образующей которой является ломаная линия, позволяет не только уменьшить геометрические размеры вибратора [3], но и сохранить достаточно широкую ДН в вертикальной плоскости при сохранении ее ширины не менее 30° в полосе рабочих частот от 250 до 1000 МГц. Подобный несимметричный вибратор исследовался в [4].

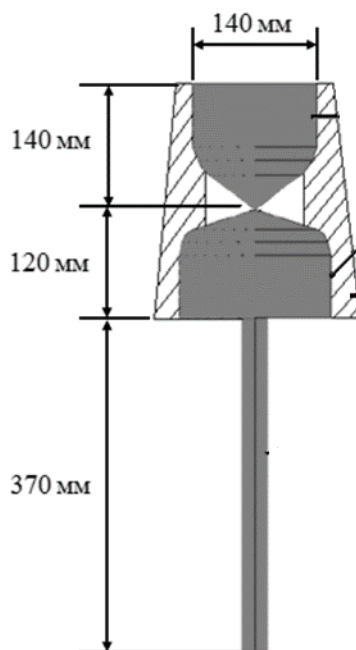


Рис. 2. Конструкция поликонической вибраторной антенны, когда нижний конус установлен на вертикальный металлический стержень, а верхний конус удерживается осесимметричным пенопластовым обтекателем.

Расчеты показали, что при таком способе установки антенны на держатель наблюдается сильная неравномерность её ДН в вертикальной плоскости особенно в области нижних частот. Это связано с высоким уровнем

электрического тока, наводимого на стержне и возбуждающего поле, интерферирующее с полем излучения вибратора, искажая его ДН. Замена металлического стержня на диэлектрический не решает проблему по существу: ток наводится на внешний проводник коаксиального кабеля, что приводит к так называемому «антенному эффекту фидера». Применение ферритовых колец для устранения этого эффекта зачастую невозможно.

Для достижения более равномерных диаграмм направленности в рабочей полосе частот можно использовать радиопоглощающие материалы (РПМ) наносимые на поверхность металлического стержня. В данной работе представлены численные исследования радиотехнических характеристик несимметричной поликонической вибраторной антенны с современным магнитным РПМ на поверхности вертикального металлического держателя. Исследования антенны проведены для двух типов покрытия – однослойного и двухслойного. Исследования проведены с помощью пакета программ электродинамического моделирования FEKO в рабочей полосе частот антенны от 250 до 1000 МГц.

3. Характеристики радиопоглощающих материалов

В ИТПЭ РАН разработан РПМ на основе полимерного связующего, наполненного крупнодисперсным магнитомягким порошком из ферромагнитного сплава с нанокристаллической структурой [5]. Исследования радиотехнических характеристик антенны проводились в рабочей полосе частот с однослойным РПМ на основе порошка ферромагнитного сплава, и с двухслойным, где этот материал использовался в качестве первого слоя. В качестве второго слоя (наружного) использовался композитный материал на основе порошка модифицированного карбонильного железа

Для численного моделирования антенны использовались измеренные частотные зависимости диэлектрической и магнитной проницаемостей РПМ, наполненного крупнодисперсным магнитомягким порошком ферромагнитного сплава с нанокристаллической структурой (рис. 3). Следует отметить, что измерения диэлектрической и магнитной проницаемостей проводились двумя

независимыми методами: в коаксиальной измерительной ячейке в диапазоне частот от 0,1 до 3,0 ГГц и в свободном пространстве в диапазоне частот от 3,0 до 10 ГГц с использованием диафрагмы и временной обработки сигнала во временной области с использованием быстрого преобразования Фурье и устранением эффекта Гиббса. Более подробно методика измерений диэлектрической и магнитной проницаемостей материалов в свободном пространстве приведена в [6]. Особенностью используемого РПМ является то, что в рабочем диапазоне частот он обладает высокой диэлектрической проницаемостью наряду с низкими диэлектрическими и высокими магнитными потерями. Максимум магнитных потерь РПМ наблюдается на частоте 190 МГц. Такие свойства РПМ достигаются специальной технологией производства магнитного наполнителя.

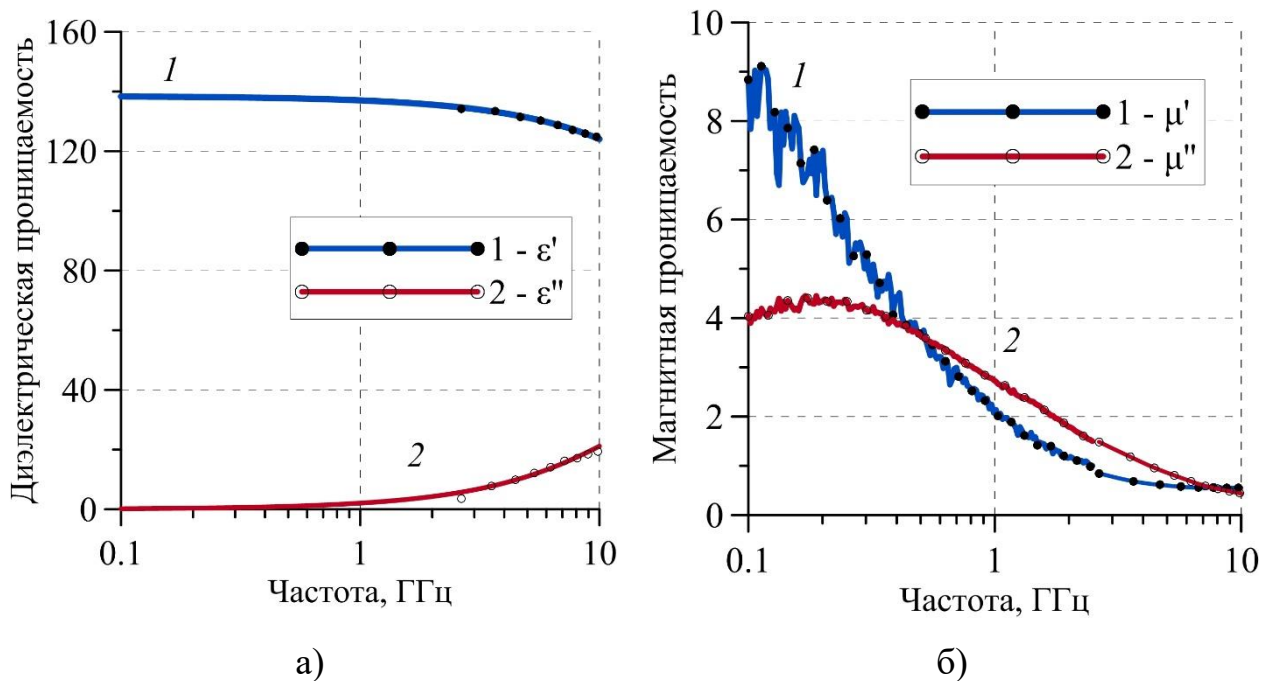


Рис. 3. Частотные зависимости комплексной диэлектрической (а) и комплексной магнитной (б) проницаемостей радиопоглощающего материала, наполненного крупнодисперсным порошком ферромагнитного сплава.

На рис. 4 приведены измеренные частотные зависимости диэлектрической и магнитной проницаемостей второго слоя покрытия, которые использовались в расчетах радиотехнических характеристик антенны.

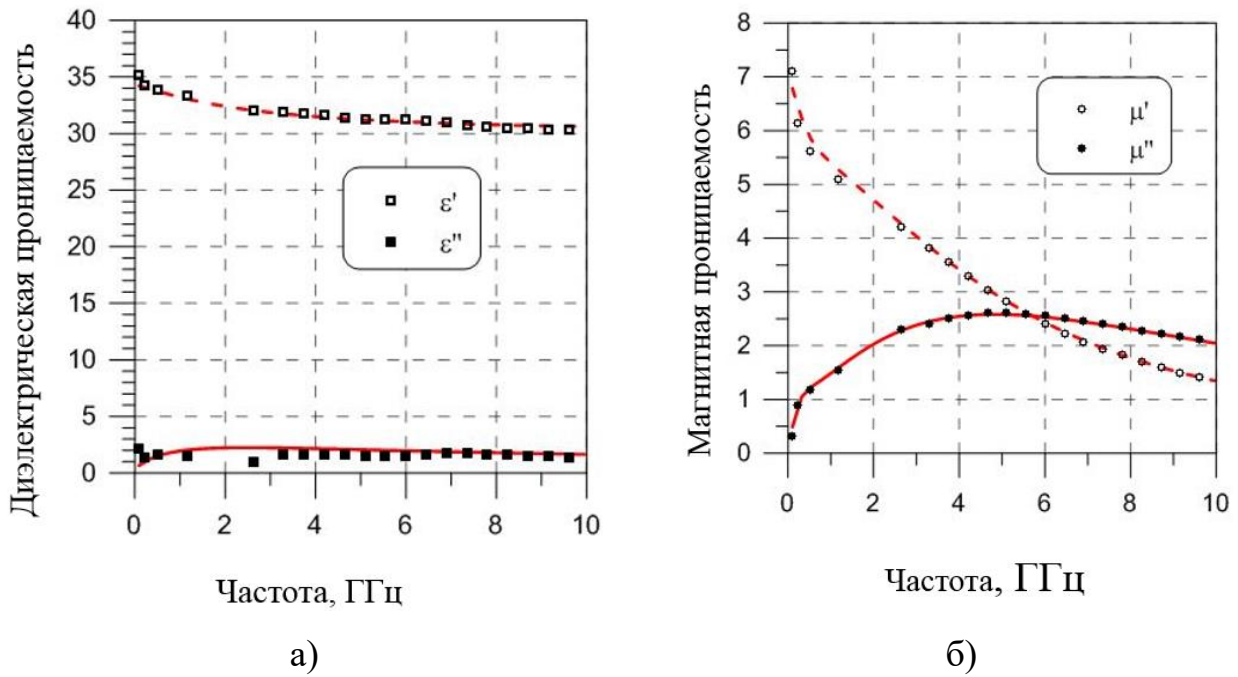


Рис. 4. Измеренные частотные зависимости диэлектрической и магнитной проницаемостей композитного материала на основе порошка модифицированного карбонильного железа.

4. Результаты

На рис. 5 представлено распределение электрического тока на поверхности поликонической вибраторной антенны в исходном виде и с однослойным РПМ толщиной 5 мм на металлической трубе на частоте 250 МГц. Видно, что нанесение поглощающего материала на держатель позволяет существенно снизить величину электрического тока на его поверхности, что в свою очередь улучшает её характеристики излучения и согласования.

Исследования показали, что оптимальные радиотехнические характеристики антенны достигаются при нанесении однослойного РПМ толщиной 5 мм. При использовании двухслойного РПМ его оптимальная толщина составляет 10 мм, при этом толщина первого слоя (на металлическом держателе) на основе порошка ферромагнитного сплава составляет 4,5 мм, а толщина второго слоя на основе порошка модифицированного карбонильного железа – 5,5 мм. Рассчитанные частотные зависимости коэффициентов

отражения (КО) однослойного и двухслойного РПМ с указанными параметрами при нормальном падении волны приведены на рис. 6.

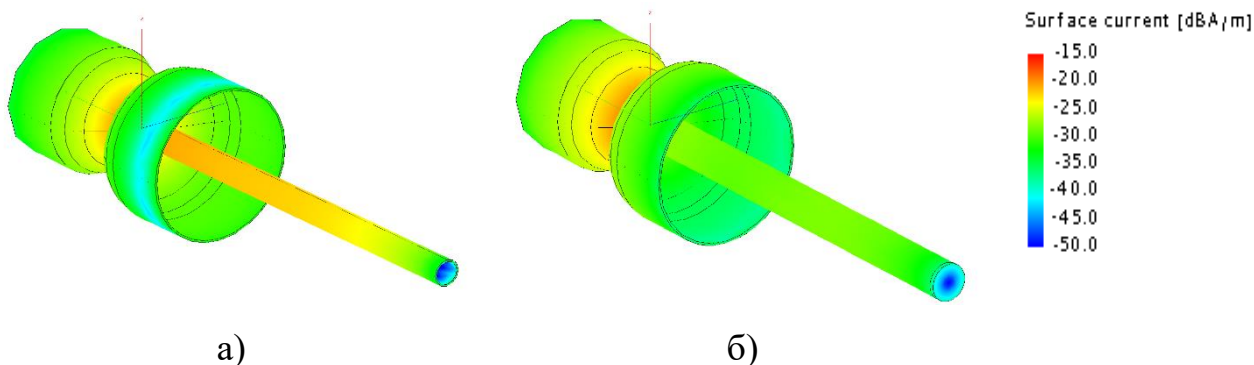


Рис. 5. Распределение электрического тока на поверхности поликонической вибраторной антенны в исходном виде (а) и с однослойным РПМ толщиной 5 мм на держателе (б) на частоте 250 МГц.

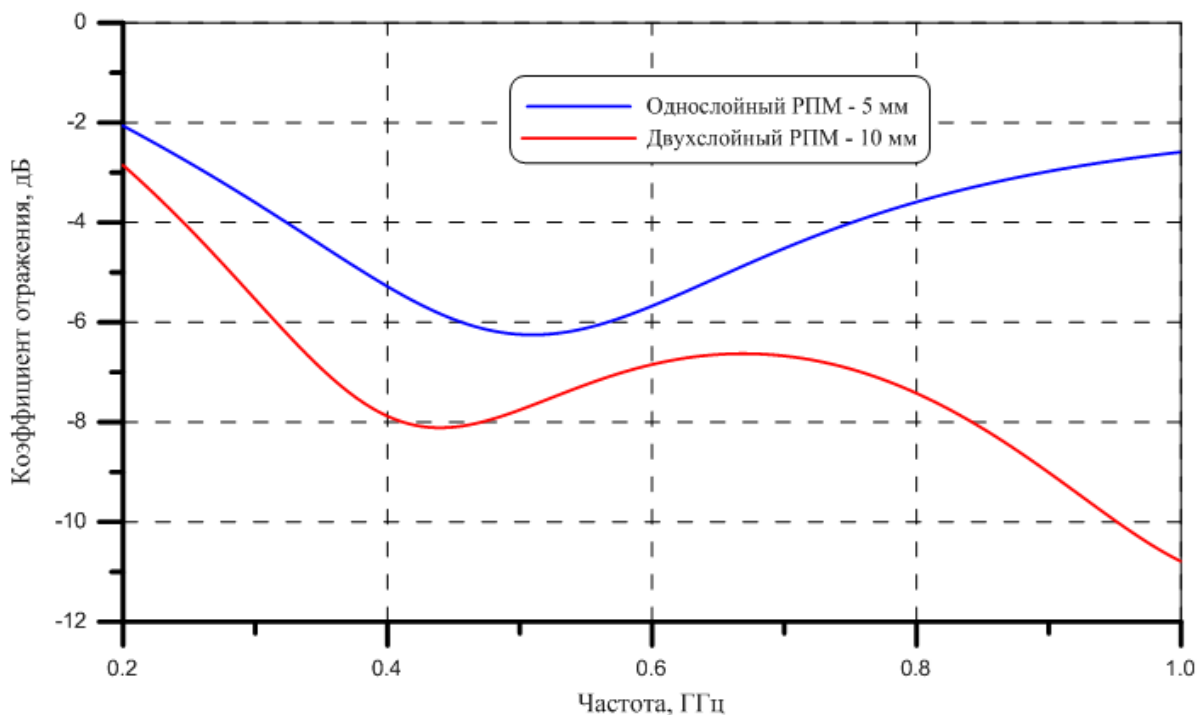


Рис. 6. Частотная зависимость коэффициента отражения однослойного и двухслойного РПМ при нормальном падении волны.

Рассчитанные ДН поликонической антенны в вертикальной плоскости на частотах 250, 400, 800 и 1000 МГц представлены на рис. 7. ДН антенны нормированы к максимуму ДН вибраторной антенны в исходном виде. Видно,

что применение однослойного РПМ позволяет сформировать более равномерные ДН в области частот от 250 до 800 МГц, а применение двухслойного РПМ в конструкции вибраторной антенны позволяет сформировать более равномерные ДН в вертикальной плоскости на всех частотах рабочего диапазона.

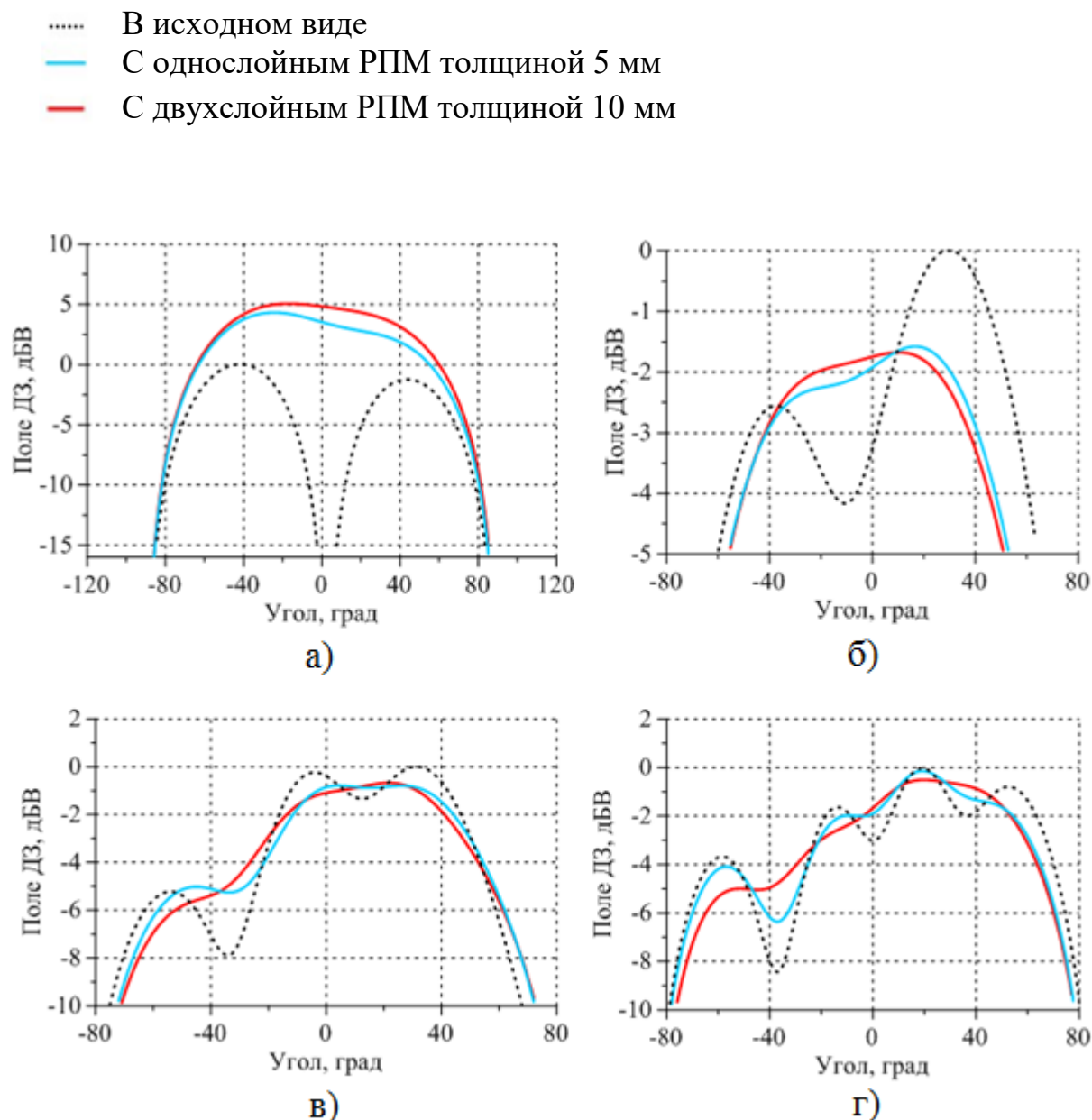


Рис. 7. ДН несимметричной поликонической вибраторной антенны в исходном виде и с использованием однослойного и двухслойного РПМ на частотах 250 МГц (а), 400 МГц (б), 800 МГц (в) и 1000 МГц (г).

Кроме того, расчеты показали, что нанесение РПМ на держатель антенны позволяет снизить коэффициент стоячей волны антенны (КСВН) в области

нижних частот, тем самым существенно расширить рабочий диапазон частот антенны. На рис. 8 представлены расчетные частотные зависимости КСВН антенны в исходном виде и с РПМ на держателе.

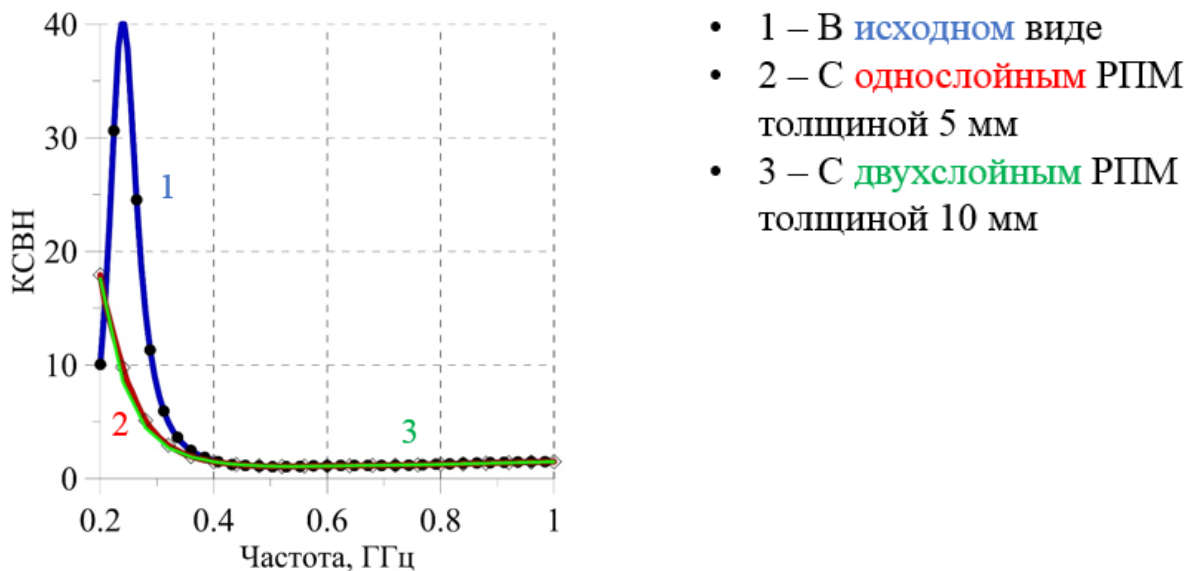


Рис. 8. Расчетные частотные зависимости КСВН антенны в исходном виде (кривая 1), с однослойным РПМ (кривая 2) и с двухслойным РПМ (кривая 3) на металлическом держателе.

5. Заключение

Проведённые исследования показали, что применение магнитного РПМ с высокими магнитными потерями в метровом и дециметровом диапазонах длин волн эффективно подавляет ток, наводимый на держателе. Это позволяет как повысить равномерность диаграммы направленности вертикальной плоскости в рабочей полосе частот, так и снизить КСВН вибраторных антенн в области нижних частот, и тем самым расширить диапазон рабочих частот.

Литература

1. Baum C. E., Stone A.P., Tyo J.S. An Omnidirectional and Low-VSWR Ultra Wideband Antenna for a Frequency Band of 6 to 40 GHz. 8th Conference on Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics (UWBSP8), 9 – 14 July 2006.

2. Калошин В.А., Мартынов Е.С., Скородумова Е.А. Моделирование биконической антенны в широкой полосе частот // Труды III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2009, с. 97–101.
3. Калошин В.А., Скородумова Е.А. Исследование симметричной поликонической антенны. // Труды IV Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 29 ноября – 3 декабря 2010, т. 1, с. 531.
4. Бобков Н.И., Юханов Ю.В., Семенихин А.И., Семенихина Д.В. Широкополосные проходные вращатели поляризации и примеры их применения в апертурах антенн. // Антенны. 2010. N2. С. 31-37.
5. Зайцева Н.В., Коробейников Г.В. Кохнюк Д.Д., Иванова Л.Н., Славин В.В., Кузнецов П.А., Маренников Н.В., Семенов В.Н. «Поглотитель электромагнитных волн» // патент РФ № 2414029, заявлен 01.02.2010, опубликован 10.03.2011, Бюл. № 7, классы H01Q 17/00.
6. Басков К.М., Политико А.А., Семенов В.Н., Чистяев В.А. Коррекция S-параметров при измерении материальных параметров магнитодиэлектрических композитов в свободном пространстве с применением диафрагмы // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2017. N5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/7/text.pdf>.

Для цитирования:

В.Н. Семенов, К.М. Басков, Д.И. Акимов, А.А. Политико, В.А. Чистяев, Н.И. Бобков. Применение магнитных радиопоглощающих материалов для коррекции радиотехнических характеристик поликонических вибраторных антенн. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep18/12/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.9.12