

# Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 621.396.06

З.В. Барсова

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

*Исследованы электрофизические, механические и защитные свойства, синтезированных по разработанной автором технологии композиционных материалов на основе гексаферрита и алюминатов бария, полученных методом спекания при температуре 1300 – 1350°C. Показано, что данные композиционные материалы обладают вязкими свойствами, характеризуются высокой коэрцитивной силой до 6000 – 6500 Э и границей прочности при сжатии до 75 – 85 МПа после 7 суток. Установлено, что синтезированные композиционные материалы имеют достаточные магнитные и прочностные свойства, и обеспечивают эффективную защиту биологических и технических объектов от электромагнитного излучения в диапазоне частот 70 – 90 ГГц, ослабляя его в среднем на 26 дБ.*

**Ключевые слова:** сверхвысокие частоты, электромагнитное излучение, композиционные материалы, защита.

### Постановка задачи

Повсеместное внедрение инновационных технологий при создании аппаратных средств автоматизированных систем управления и связи, применяемых на объектах сложных пространственно разнесённых технических комплексов, таких, например, как объединённая электроэнергетическая система Украины, обострило проблему обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) используемого оборудования, микропроцессорных и радиоэлектронных средств.

Невыполнение требований по обеспечению ЭМС влечёт за собой сбои в работе систем управления, неустойчивую работу систем связи, потери информации в компьютерных сетях и, как следствие, значительный материальный ущерб.

В связи с этим появились и требуют решения новые научно-технические задачи, связанные с необходимостью разработки новых композиционных материалов обладающих электрофизическими и механическими свойствами, которые способны обеспечить эффективную защиту как микропроцессорных и радиоэлектронных средств технических систем, так и биологических объектов от электромагнитного излучения (ЭМИ).

Такие материалы, с повышенными магнитными характеристиками, могут использоваться [1 – 3]:

– для создания магнитных датчиков, магнитных жидкостей и порошков;

- для выравнивания магнитных полей, при создании безэховых камер, для защиты биологических объектов от влияния электромагнитного поля;
- при решении задач защиты от электромагнитных помех и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств;
- для поглощения электромагнитных излучений от электрических приборов;
- в качестве защитных экранов с большой площадью;
- в качестве не отражающих покрытий, при создании трудно обнаруживаемых радиотехническими средствами объектов;
- корпусов радиоэлектронной аппаратуры;
- экранов на электрических платах и межблочных экранов для стационарной аппаратуры и переносных приборов;
- в качестве средств индивидуальной и коллективной защиты от электромагнитных излучений.

Создание эффективных широкополосных материалов, способных обеспечивать необходимый уровень защиты от электромагнитного излучения, является перспективным направлением исследований. Решить эту задачу можно путем использования многослойных покрытий, каждое из которых позволяет обеспечить эффективную защиту в требуемом диапазоне частот. Кроме того, эти материалы должны обладать достаточной прочностью с целью использования их в качестве основы для нанесения на них следующего слоя.

Анализ публикаций, относящихся к современным подходам создания эффективных материалов, способных обеспечивать необходимый уровень защиты систем от электромагнитного излучения, позволяет сделать вывод, что существующие ферромагнитные материалы получают по ресурсоемкой технологии, требующей повышенной температуры синтеза и нуждаются в дальнейшем усовершенствовании комплекса свойств, для обеспечения одновременной синергетики магнитных параметров с необходимыми значениями прочностных характеристик.

Как правило, для создания защитных экранов используются различные изделия на основе металлов, их сплавов, оксидных соединений. Однако, при изготовлении конструкций и изделий сложной конфигурации и повышенной чистоты возникают технологические сложности. С этой точки зрения представляют интерес вязущие материалы, включающие активные в гидравлическом отношении компоненты, в частности алюминаты бария, позволяющие изготавливать изделия сложной конфигурации по упрощенной технологии. Система на основе композиций  $BaO - Al_2O_3 - Fe_2O_3$  имеет в своем составе алюминаты бария, обеспечивающие вязущие свойства и прочностные характеристики, а также ферриты бария, которые придают необходимые магнитные свойства.

Анализ электрофизических свойств ферритовых материалов показывает, что для создания радиопоглощающих материалов в длинноволновой части сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона предпочтительно использовать марганец-цинковые ферриты, в дециметровом диапазоне – никель-цинковые ферриты, в сантиметровой области – гексагональные ферриты. Использование высокоанизотропных гексагональных ферритов в качестве наполнителей композиционных радиопоглощающих материалов позволяет осуществлять частотно-селективное поглощение ЭМИ путем управления частотой естественного ферромагнитного резонанса ферритов [4]. Композиционным материалам на основе гексаферрита и алюминатов бария присущ обширный диапазон магнитных свойств, которые можно регулировать в широком диапазоне значений в зависимости от фазового состава.

Таким образом, разработка перспективных композиционных материалов для эффективной защиты от электромагнитного излучения в СВЧ диапазоне является актуальной задачей, которая определила направленность данной статьи.

**Цель статьи** – показать, что синтезированные композиционные материалы на основе гексаферрита и алюминатов бария имеют достаточные электрофизические, механические и защитные свойства и могут обеспечить эффективную защиту биологических и технических объектов от электромагнитного излучения в диапазоне сверхвысоких частот.

## Изложение основного материала исследований

Одно из перспективных решений научно-технической задачи обеспечения эффективной защиты биологических и технических объектов от электромагнитного излучения в диапазоне сверхвысоких частот позволяет получить разработанная ресурсосберегающая технология изготовления композиционных материалов на основе гексаферрита и алюминатов бария, обладающих высокими магнитными и прочностными характеристиками, что также дает возможность существенно снизить температуру синтеза. Композиционные материалы были получены методом спекания при температуре 1300 – 1350°C. При этом использовались следующие сырьевые компоненты: синтезированный магнетит, карбонат бария и оксид алюминия, которые получали путем смешения и совместного помола, затем подсушивали при необходимости, брикетировали и обжигали.

Синтез гексаферрита бария осуществляли путем смешения и совместного помола сырьевых компонентов: синтетического магнетита и карбоната бария при влажности по массе 40%, подсушивали при температуре 100°C, брикетировали при давлении 35 – 40 МПа, спекали при температуре ~1200°C [5]. Магнетит получали методом соосаждения солей железа (II) и железа (III) раствором аммиака.

Определение механических свойств осуществлялось в соответствии с известными методиками и ДСТУ EN 196-1, 3, 6:2007 [6].

Коэрцитивная сила определялась на коэрцитиметре с измерительной катушкой, подключённой к баллистическому гальванометру и сдёргиваемой с образца при определении в нём остаточной намагниченности. Намагниченность измерялась с применением баллистического магнитометра при комнатной температуре, измерительная система которого состоит из двух идентичных катушек, включенных так, чтобы результирующая электродвижущая сила, возникающая при изменении внешнего магнитного поля, в отсутствие образца, равнялась нулю.

Удельное объемное сопротивление определялось на образцах в виде дисков диаметром 50 мм и высотой 5 мм согласно ГОСТ 6433.2-71.

Для измерения объемного электросопротивления применялось устройство, состоящее из трех электродов (высоковольтного, измерительного и охранного), и измерителя сопротивления. Комплексную магнитную проницаемость и диэлектрическую проницаемость определяли методом коаксиального резонатора в соответствии с ГОСТ 12637-67 и [7] (рис. 1) на автоматизированной установке.

Расчет вещественных и мнимых частей проницаемостей осуществлялся в соответствии с формулами, приведенными в ГОСТе.

Предложенная методика определения удельного объемного сопротивления, комплексной диэлектрической и магнитной проницаемости была взята для выполнения измерений без учета погрешностей,

обусловленных более высокой рабочей частотой.

Оценка экранирующей способности вязущего композиционного материала проведена теоретически и экспериментально (рис. 2) [8].

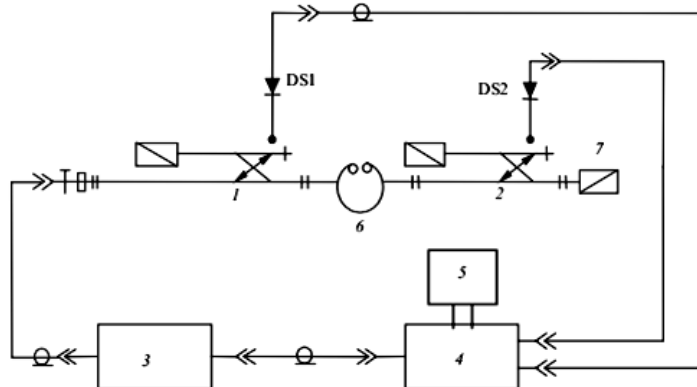


Рис. 1. Блок-схема установки: 1, 2 – направленные ответвители с детекторными секциями; 3 – генератор качающейся частоты; 4 – индикатор; 5 – персональный компьютер; 6 – резонатор P2 – 69; 7 – согласованная нагрузка

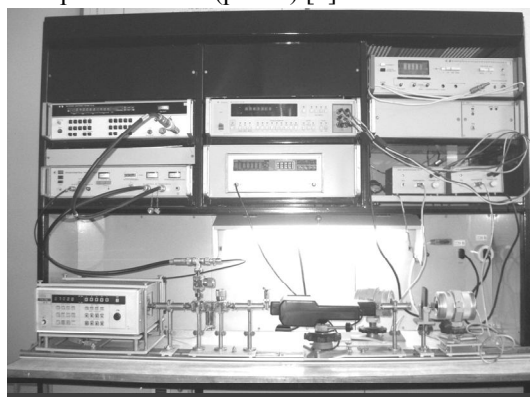


Рис. 2. Внешний вид лабораторной установки для измерения мощности отраженного и прошедшего сигнала на частоте 70-78 ГГц

Электродинамическое моделирование экранирующих свойств композиционного материала осуществлялось с использованием значений комплексной диэлектрической и магнитной проницаемостей, их вещественных и мнимых частей. Экспериментально исследовались защитные свойства от ЭМИ отдельных композиционных материалов, варьирующихся по фазовому составу и электрофизическим свойствам. Для исследования защитных свойств материалов предложена следующая методика. Определение затухающих свойств материала заключалось в оценке отражающих свойств (коэффициента отражения) и коэффициента прохождения по мощности с шагом 1 ГГц. Определение экранирующих свойств осуществлялось на экспериментальной установке в свободном пространстве, исключая переотражения от окружающих объектов, (рис. 2). Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Коэффициент поглощения рассчитывался по формуле:

$$A=1-(R+T),$$

где A – коэффициент поглощения; R – коэффициент отражения; T – коэффициент прохождения.

Полученные композиционные материалы являются быстротвердеющими (прочность при сжатии на 1 сутки до 45 МПа), высокопрочными (прочность при сжатии на 7 сутки до 75 – 85 МПа) воздушными вязущими.



Рис. 3. Функциональная схема экспериментальной установки

Исследования электрофизических свойств композиционных материалов на основе гексаферрита и алюминатов бария показали, что удельное объемное сопротивление  $0,5 - 1,3 \cdot 10^6$  Ом·м; комплексная диэлектрическая проницаемость: вещественная часть 8,1 – 16,0, мнимая часть 0,8 – 3,5; комплексная магнитная проницаемость: вещественная часть 2,6 – 8,0, мнимая часть 0,5 – 1,6; тангенс угла диэлектрических потерь 0,09 – 0,22 (на частоте 70 ГГц). Композиционные материалы в этой области составов характеризуются высокой коэрцитивной силой до 6000 – 6500 Э. Определены основные магнитные характеристики магнетита: удельная намагниченность насыщения  $75 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ , и коэрцитивная сила 250 Э. Также была определена удельная намагниченность насыщения  $71 \text{ Гс} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$  и коэрцитивная сила 4500 Э синтезированного гексаферрита бария.

Электродинамическое моделирование экранирующих свойств композиционного материала осуществлялось с использованием программного обеспечения Fortran по программе Compaq Visual Fortran 6.6A. Вследствие проведения теоретических исследований были получены такие результаты: в исследуемом диапазоне частот 70-90 ГГц расчетный коэффициент ослабления электромагнитного излучения составляет 24.3-29.6 дБ

Анализ экспериментальных данных показал, что в диапазоне частот 70-78 ГГц ферромагнитные

композиционные материалы на основе гексаферрита и алюминатов бария имеют коэффициент экранирования 25-30 дБ. Сравнительные характеристики защитных свойств разработанных ферромагнитных материалов и аналогов показывают,

что известные материалы обладают в 1.5 – 2 раза меньшими защитными свойствами и толщиной на порядок больше [9 – 11].

## Выводы

1. Проведённые исследования электрофизических и механических свойств разработанных ферромагнитных композиционных материалов на основе гексаферрита и алюминатов бария позволяют заключить, что ферромагнитные композиционные материалы существенно ослабляют влияние ЭМИ в требуемом диапазоне частот и их целесообразно применять при создании защитных экранов для защиты от электромагнитного излучения биологических и технических объектов на сверхвысоких частотах.

2. Результаты исследований защитных свойств полученных ферромагнитных композиционных материалов от влияния мощного ЭМИ в диапазоне частот 70-90 ГГц показали, что материалы предложенного состава ослабляют ЭМИ на 25-30 дБ в диапазоне частот 70-90 ГГц.

## Список литературы

1. Голованов С. Получение ферритовых материалов с высокой коэрцитивной силой, предназначенных для хранения информации в условиях воздействия сильных электромагнитных полей / С. Голованов // Актуальные проблемы электроники. Материалы II внутривузовской молодежной научной школы, апрель 2011 г. – Кузнецк, 2011. – С. 14-16.
2. Пат. 9810439 WO, МКИ H 01 F 1/24, H 01 F 1/37. Магнитный материал, способ его изготовления и материал для защиты от электромагнитных помех / Norihiko O., Osamu I.; заявитель Tokin Corporation, O. Norihiko, I. Osamu. – № JP9703067; заявл. 02.09.97; опубл. 12.03.98.
3. Пат. № 2247760 RU, МПК(2004) C 09 D 5/32, H 01 Q 17/00. Состав для поглощения электромагнитного излучения и способ получения состава / Грибанова Е.В., Иванова В.И. и др.; заяв. Николаев А.А., Шуткевич В.В. – № 2004108021/04; заявл. 19.03.04; опубл. 10.03.05.

4. Смирнов Д.О. Композиционные радиопоглощающие материалы на основе ферромагнитных соединений: автореф. дисс. ... канд. тех. наук: спец. 05.09.02 «Электротехнические материалы и изделия» / Д.О. Смирнов. – М., 2009. – 20 с.

5. Chemistry and technology of magnetite and barium-containing composite materials on its basis / A. Tajirov, I.V. Cwhanovskaya, Z.V. Barsova, N.G. Iluokha // European Science and Technology: mat. of the II int. research and practice conf. Vol. II, May 9th–10th, 2012. – Wiesbaden, 2012. – P. 80-87.

6. Исследование физико-технических свойств вяжущих композиционных материалов в области, богатой гексаферритом бария / Н.Г. Илюха, З.В. Барсова, И.В. Цихановская, В.П. Тимофеева // Науковий вісник будівництва. – 2013. – № 71. – С. 286-289.

7. Спектры магнитной проницаемости наноразмерных порошков гексаферритов [Электронный ресурс] / Е.П. Найден, В.И. Суляев, А.В. Бир, М.В. Политов // Журнал структурной химии. – 2004. – Т. 45. – С. 102-105. – Режим доступа: [http://jsc.niic.nsc.ru/JSC/jsc\\_rus/2004-t45/n7/16.htm](http://jsc.niic.nsc.ru/JSC/jsc_rus/2004-t45/n7/16.htm).

8. Барсова З.В. Застосування феромагнітних композиційних матеріалів на основі гексафериту та алюмінітів барію для захисту від електромагнітного випромінювання / З.В. Барсова // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Матеріали третьої міжн. НТК, 11-12 квітня 2013 р. – Полтава, Білгород, Харків, Київ, Кіровоград, 2013. – С. 72.

9. Островский О.С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн / О.С. Островский, Е.Н. Одаренко, А.А. Шматько // Физика и техника полупроводников. – 2003. – Т. 1, № 2. – С. 161-173.

10. Дубинко С.В. Напряженные эпитаксиальные пленки ферритов – гранатов / С.В. Дубинко, А.С. Недвига, В.Г. Вишневецкий [и др.] // Физика твердого тела. – 2005. – октябрь. – С. 90-92.

11. Поглотитель ЭМИ марки IG фирмы TDK GLOBAL Japanese [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [www.tdk.co.jp](http://www.tdk.co.jp).

Поступила в редколлегию 22.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.Г. Илюха, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИНТЕЗОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТАХ

З.В. Барсова

Досліджено електрофізичні, механічні й захисні властивості синтезованих за розробленою автором технологією композиційних матеріалів на основі гексафериту та алюмінітів барію, одержаних методом спікання при температурі 1300-1350°C. Показано, що отримані композиційні матеріали мають в'язучі властивості, характеризуються високою коерцитивною силою до 6000 – 6500 Е та границею міцності на стиск до 75 – 85 МПа після 7 діб. Встановлено, що синтезовані композиційні матеріали мають достатні магнітні та міцнісні властивості, і забезпечують ефективний захист біологічних і технічних об'єктів від електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 70 – 90 ГГц, послабляючи його в середньому на 26 дБ.

**Ключові слова:** надвисокі частоти, електромагнітне випромінювання, перспективні матеріали, захист.

## INVESTIGATION OF APPLICATION EFFICIENCY OF SYNTHESIZED COMPOSITE MATERIALS FOR PROTECTION FROM ELECTROMAGNETIC RADIATION AT MICROWAVE FREQUENCIES

Z.V. Barsova

It was investigated electrophysical, mechanical and protective properties of synthesized composite materials based on hexaferrite and aluminates of barium according to the created technology, which were sintered at 1300-1350°C. It was shown that composite materials have binding properties, high coercive force is up to 6000 – 6500 Oe and compressive strength for the 7 day is up to 75 – 85 MPa. It was found that synthesized composite materials have necessary magnetic and high-strength properties and provide the effective protection of biological and technical objects against electro-magnetic radiation in frequency range from 70 to 90 GHz reducing the effect of electro-magnetic radiation on 26 dB.

**Keywords:** microwave frequency electromagnetic radiation, perspective materials, protection.