

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЭА

В связи с работами по созданию сложной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), особенно специального назначения, остро стоит вопрос совершенствования методов экранирования ее от воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) радиочастотного диапазона. Такое экранирование в значительной степени влияет как на надежность функционирования самой РЭА, так и на обеспечение защиты окружающей среды в зоне ее функционирования.

Особенно остро стоит проблема экранирования РЭА в связи с применением во время боевых действий различного рода радиоэлектронного оружия, способного генерировать мощные широкополосные ЭМИ, выводящие из строя радиоэлектронные системы (рис.1).

С увеличением быстродействия электронных схем растут рабочие частоты, что приводит к повышенным требованиям к экранированию блоков устройств (рис.2), печатных узлов (ПУ) и отдельных элементов в ПУ с целью обеспечения их электромагнитной совместимости (ЭМС).

Для создания экранирующих конструкций наиболее широко применяются металлы (электростатическое экранирование, экранирование в дальней зоне) и специальные маг-

нитомягкие сплавы и ферриты (экранирование от магнитного излучения в ближней зоне). Указанные материалы имеют ряд недостатков. Металлы, например, не способны защитить РЭА от магнитных полей. В основе механизма экранирования металлами лежит явление отражения, а не поглощение ЭМИ.

Отражение приводит к резонансу и усилению ЭМИ, появлению стоячих волн, что может быть причиной сбоя в работе РЭА. Для обеспечения высокой степени экранирования к конструкции экрана предъявляется требование омического контакта между его составляющими с максимально возможным низким переходным сопротивлением [1]. Недостатком магнитомягких сплавов и ферритовых материалов является их высокая стоимость и нетехнологичность (многие материалы хрупки), что заставляет увеличивать толщину экрана, другие материалы нельзя сваривать так как это приводит к потере их магнитных свойств. "Универсальными" материалами, способными существенно повысить надежность компонентов РЭА, их ЭМС, а также снизить себестоимость за счет упрощения конструкции и технологии изготовления, могут стать наноструктурированные композиционные радиопоглощающие материалы (НКРМ) на полимерной основе.

На основе анализа информации [2–8] и предварительных экспериментов авторами сформулированы требования, выполнение которых необходимо для достижения НКРМ максимальных радиопоглощающих свойств.

Структура НКРМ должна соответствовать следующим условиям:

- наличие в полимерной матрице развитой электропроводящей наносети;



Рис.1 Схема прохождения ЭМИ, приводящего к деградации аппаратуры [1]

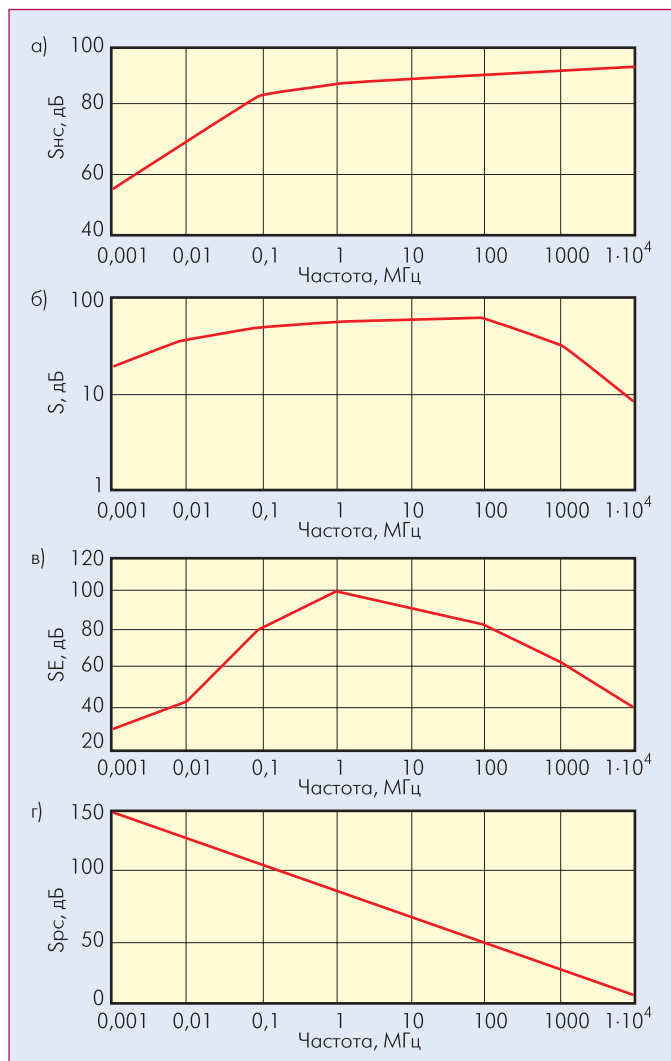


Рис.2 Зависимость эффективности экранирования от частоты [1]: а – экранирование неразъемного шва; б – суммарное экранирование блока; в – экранирование сплошного листа; г – экранирование щели

- присутствие изолированных друг от друга наночастиц магнитного вещества;
- обеспечение дополнительного ослабления ЭМИ за счет диэлектрических потерь;
- наличие структурных элементов, способствующих образованию релеевских рассеивающих структур и зон, где происходит сложение волн в противофазе;
- достижение минимальной разности волновых сопротивлений на границе НКРМ/воздух.

Эксперименты авторов показали, что в качестве компонента наносети, ответственной за поглощение электрической составляющей ЭМИ, наиболее перспективны углеродные нановолокна (УНВ), особенно в случае их функционализации, например обработки поливиниловым спиртом (ПВС) или активации гидроксидом калия (КОН) (рис.3).

Другое требование к НКРМ – наличие в них изолированных друг от друга наночастиц магнитного вещества. В качестве

компонентов, поглощающих магнитную составляющую ЭМИ, наибольший интерес представляют магнитные наноматериалы, размер частиц которых сопоставим с размером магнитного домена. Учитывая технологичность синтеза и применения, наиболее перспективными для вышеназванных целей представляются наполнители на основе наноферритов. Наполнитель представляет собой немагнитную матрицу, в нанопорах которой находятся кластеры феррита. Для получения таких наполнителей наиболее технологичны методы, основанные на одновременном синтезе матрицы и ферритовых нанокластеров. Первый состоит в осаждении матрицы в суспензии ферритообразующих прекурсоров. По второму – наноферритовый композит получают путем пиролиза аэрозолей (рис.4).

В ходе экспериментов отмечено, что радиопоглощающая способность ферритовых композитов зависит не только от химического состава и размера наночастиц, но и от их формы. На рис. 5 приведены зависимости радиопоглощающих свойств НКРМ от условий синтеза феррита структуры шпинели состава $50\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 35\text{ZnO} \times 15\text{NiO}$ с матрицей из оксида кремния.

Видно, что при вводе в полимерную матрицу наноферритовых композиционных наполнителей в количествах более 20% получаются НКРМ, сравнимые по магнитным свойствам с одним из лучших магнитомягких металлических сплавов – альсифером. Это подтверждает возможность создания НКРМ, выгодно отличающихся технологичностью от традиционно используемых для радиоэкранирования магнитомягких сплавов.

Чтобы НКРМ обеспечивали дополнительное ослабление ЭМИ, необходимо наличие в НКРМ диэлектрической фазы.

В качестве такой фазы может выступать сама полимерная матрица (при вводе количества УНВ, достаточного для обра-

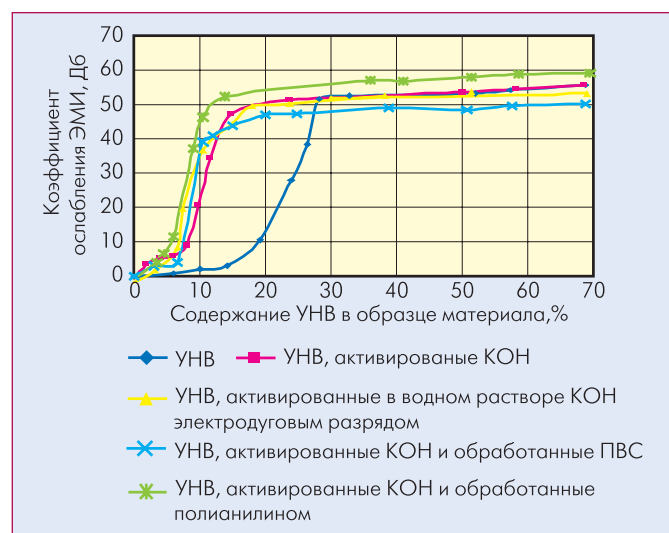


Рис.3 Усредненные значения ослабления ЭМИ в диапазоне 100–1200 МГц при прохождении через содержащие УНВ образцы

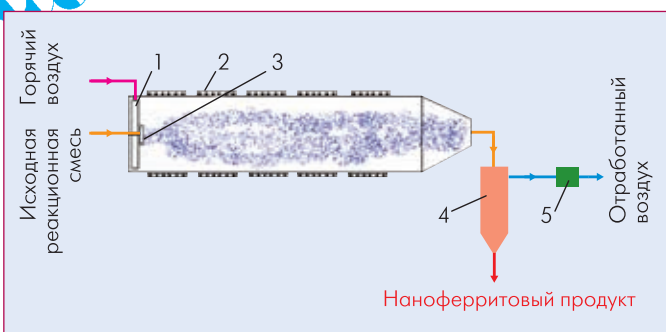


Рис.4 Схема получения наноферритовых материалов: 1 – распределитель воздушных потоков; 2 – "зональные" нагревательные элементы; 3 – ультразвуковой распылитель; 4 – циклон; 5 – фильтр доочистки

зования непрерывной наносети, могут возникать микрообъемы полимерной матрицы с ярко выраженными свойствами диэлектрика). Для увеличения диэлектрических свойств микрообъемов матрицы в нее могут дополнительно вводиться нанонаполнители, например оксиды кремния или молибдена (рис.6). Композиционные ферритовые наполнители с диэлектрической минеральной матрицей также увеличивают диэлектрические потери при прохождении ЭМИ через НКРМ.

Еще одно требование, предъявляемое к НКРМ, – наличие в них структурных элементов, обеспечивающих образование релеевских рассеивающих структур и зон, где происходит сложение волн в противофазе. Для создания таких зон необходимо наличие в структуре НКРМ элементов с размерами, большими длины электромагнитной волны. Степень отражения волн тем выше, чем больше разность волновых сопротивлений на границе раздела фаз внутри НКРМ. Использование в качестве отражателей стеклянных металлизированных микросфер [9] достаточно эффективно, но приводит к увеличению стоимости покрытия. В определенной степени такие отражатели могут быть заменены металлосиликатными микрогранулами, изготавливаемыми по схожей с вышеописанной технологией получения наноферритных композиционных наполнителей, с использованием в качестве прекурсоров фор-

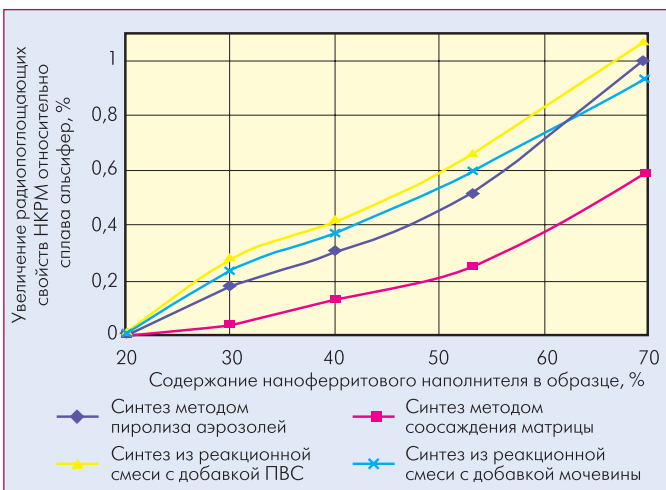


Рис.5 Характеристики НКРМ, полученных модификацией оксидного связующего композиционным наноферритовым наполнителем

миатов металлов 3d подгруппы. Однако, по мнению авторов, наиболее эффективна частичная замена образующих электропроводящую наносеть УНВ на металлические нанопроволоки (МНП).

Во-первых, такая замена не сказывается на суммарной электропроводящей способности наносети, во-вторых, МНП из железа вносят вклад в поглощение магнитной составляющей ЭМИ. Частичная замена УНВ на МНП не приводит к существенному росту разности волновых сопротивлений на границе НКРМ/воздух, но резко увеличивает разность волновых сопротивлений на границе наносеть/полимерная матрица. В результате в НКРМ возникают релеевские зоны, причем они максимально распределены по объему полимерной матрицы. На рис.7 показано влияние на радиопоглощающие и радиотражающие свойства НКРМ частичной замены УНВ на синтезированные авторами МНП.

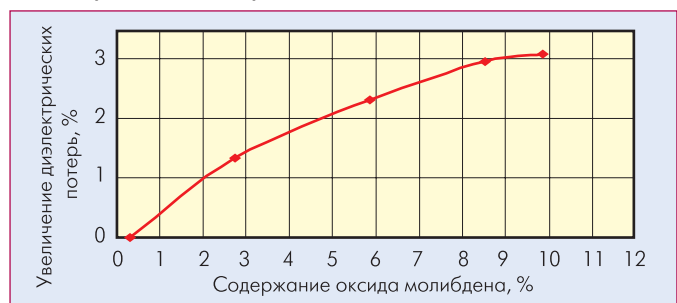


Рис.6 Рост диэлектрических потерь в зависимости от содержания в эпоксидной матрице оксида молибдена

Как уже было сказано, частичная замена УНВ на МНП не приводит к существенному росту разности волновых сопротивлений на границе НКРМ/воздух, а значит, не противоречит требованию, чтобы такая разность на этой границе была минимальной.

Хорошо известен синтез углеродных наноматериалов (УНМ) в нанореакторах полимерных матриц с одновременным образованием некоторого количества МНП. Установлено, что для увеличения выхода МНП, наилучшим образом подходящих для создания НКРМ (при использовании в качестве матрицы ПВС), целесообразно использовать смесь оксалатов и формиатов металлов с их хлоридами, а не чистые хлориды, как в синтезе, описанном в [10].

Еще одним перспективным направлением является получение УНВ, наполненных наноферритами. Разработка методов синтеза, продуктом которого являлся бы наноматериал, содержащий смесь МНП, УНВ и УНВ, наполненных ферритом (фактически речь идет о матричных наноферритах, где роль матрицы выполняет углеродная стенка нановолокна), позволил бы значительно снизить себестоимость НКРМ. Первые проведенные авторами эксперименты показали возможность осуществления такого синтеза, а также возможность влиять на соотношение компонентов получаемого наноматериала.

Практическое применение НКРМ предложенной авторами структуры для создания РЭА продемонстрировано на рис.8.

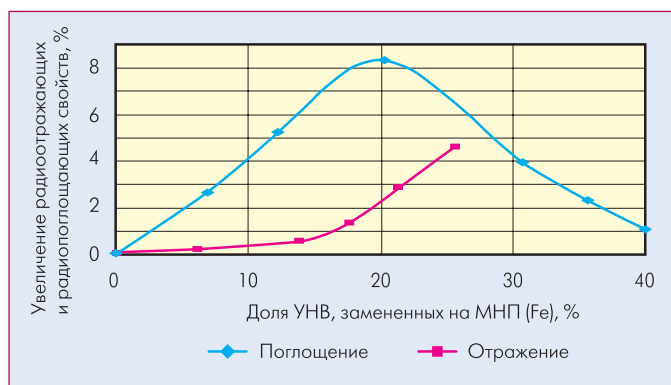


Рис.7 Увеличение радиопоглощающих и радиотражающих свойств при замене УНВ на МНП

В приведенной схеме конструкции блока РЭА для устранения нежелательных резонансных явлений использовано покрытие из НКРМ. Для устранения основных утечек через швы и апертуры [1] применены герметики и резиноподобные уплотняющие прокладки. Вместо сотовых вентиляционных панелей или отверстий в форме выдавок, играющих роль заперделных волноводов, применен НКРМ с пористой структурой, создающей малые аэродинамические потери при прохождении через него воздушного потока. Вместо металлической гребенки из бериллиевой бронзы для предотвращения утечек через дверные щелевые зазоры использованы эластичные уплотнительные прокладки из НКРМ.

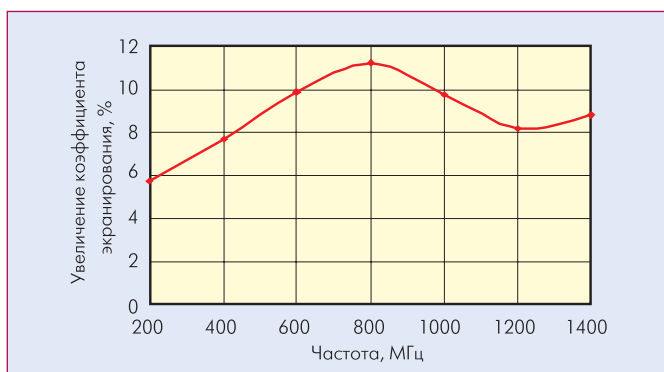


Рис.9 Увеличение коэффициента экранирования конструкции с применением НКРМ, изготовленной с соблюдением требований омического контакта относительно конструкции без НКРМ

На рис.9 приведен график, демонстрирующий на примере простейшей конструкции – корпуса РЭА – эффект применения НКРМ, отвечающих выдвинутым требованиям.

Применение НКРМ позволяет снизить себестоимость изделий путем упрощения их конструкции и технологии изготовления за счет снижения требований к омическому контакту и смены механизма экранирования с отражения на поглощение, что дополнительно дает возможность устранить резонансные явления. Использование НКРМ возможно и в уже существующих конструкциях для устранения резонансных эффектов и снижения утечек через швы.

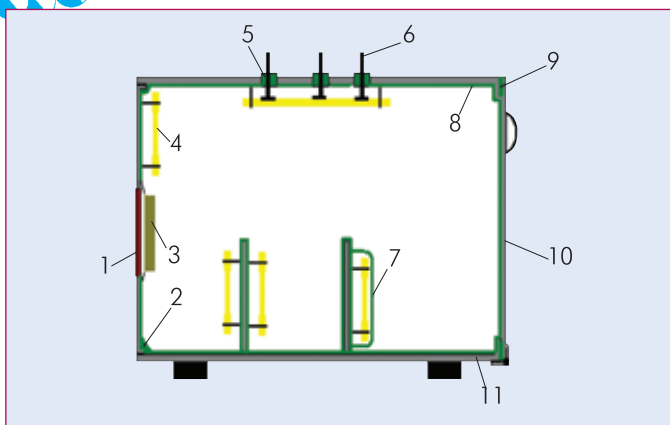


Рис.8 Варианты применения НКРМ: 1 – вентиляционная пористая вставка; 2 – герметик; 3 – вентилятор; 4 – печатный узел; 5 – резиноподобный уплотнитель; 6 – валы ручек управления; 7 – экран из конструкционного НКРМ или другого материала с НКРМ покрытием; 8 – покрытие; 9 – уплотнительные прокладки; 10 – дверца; 11 – металлический корпус

По результатам анализа экспериментов по созданию наноструктурных композиционных радиопоглощающих материалов с предложенной структурой можно констатировать, что комплекс предложенных технических решений позволяет рассчитывать на синтез наноструктурных композиционных материалов, обладающих повышенными радиопоглощающими свойствами, высокой технологичностью и в целом значительно повышающих надежность РЭА.

С учетом вышеизложенного в качестве перспективного направления работы рассматривается разработка и изготовление в соответствии с сформулированными техническими требованиями опытных "серийных" образцов, создание оптимальных методов промышленного производства радиопоглощающих материалов и синтеза наноконпонентов, а также стандартизация способов их применения. Все это позволит в условиях серийного производства достигнуть не только высоких технологических результатов, но и значительно снизить, по сравнению с опытными образцами, себестоимость самих радиопоглощающих наноматериалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н. Экранирование электронных средств и экранирующие системы. Материалы семинара. – М.: ИТД "Технологии", 2007, с.11, 61–62.
2. Патент № 2247759, Россия, опубликован 2005.03.10.
3. Патент № 314483, Япония, опубликован 1992.03.13.
4. Патент № 5965056, США, опубликован 1999.10.12.
5. Патент № 2273925, Россия, опубликован 2006.04.10.
6. Патент № 2300832, Россия, опубликован 2007.06.10.
7. Заявка РФ № 2003118967, опубликована 2005.02.10.
8. Заявка РФ № 2004126880, опубликована 2006.02.20.
9. Заявка РФ № 2003100064, опубликована 2004.07.10.
10. Липанов А.М., Кодолов В.И., Хохряков Н.В., Дидик А.А., Кодолова В.В., Семакина Н.В. Проблемы создания нанореакторов для синтеза металлических наночастиц в углеродных оболочках. – Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология" АЭЭ, 2005, № 2(22), с.59–63.