

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.35.25-026.66:667.637.2

Пласкавицкий  
Сергей Александрович

Влияние углеродсодержащих покрытий  
на свойства экранов электромагнитного излучения

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-98 80 01 Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность

---

Научный руководитель  
Поболь Игорь Леонидович  
Доктор технических наук, доцент

---

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Естественный электромагнитный фон, обусловленный влиянием в первую очередь электромагнитного поля Земли и излучениями космических объектов, наиболее значимым из которых является Солнце, присутствовал на протяжении долгих лет развития человека. В результате человеческий организм, являющийся сложной адаптивной системой, выработал собственные механизмы защиты, которые, однако, зачастую недостаточны при одновременном воздействии естественного и искусственного фона и сложной экологической обстановки. Несмотря на то, что излучение космических объектов в значительной степени ослабляется атмосферой, наблюдается негативное воздействие интенсивного солнечного излучения, например, в ультрафиолетовой области длин волн при больших углах падения, отмечается повышенная чувствительность некоторых групп людей к возмущениям электромагнитного поля Земли и солнечным бурям.

Активное использование электромагнитного ресурса, связанное с развитием радиосвязи и различных систем передачи и дистанционной обработки информации, телевидения, мобильной связи, радиолокации и радионавигации, приводит к появлению дополнительного электромагнитного фона. Электромагнитные поля (ЭМП) различной частоты используются в качестве приемо-передающего, управляющего или энергетического канала, разделенного во времени и по частоте с помощью радиотехнических устройств, и локализованного в пространстве с помощью антенных устройств и экранов. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, формируемое радиоэлектронными средствами, отличается от естественного фона по своим частотным и мощностным характеристикам и вносит дополнительный вклад в реакцию биологических объектов. Зачастую реакции биообъектов трудно предсказуемы и носят комплексный характер. При этом особо актуальной проблемой является подавление нежелательных (паразитных) электромагнитных излучений, возникающих из-за несовершенства конструкций излучающих блоков, оказывающих наиболее сильное влияние на человеческий организм вследствие незначительного удаления от источников излучения и образующих дополнительный электромагнитный канал утечки информации.

Актуальность разработки высокоэффективных, широкополосных, технологичных и удобных в эксплуатации экранирующих и радиопоглощающих материалов обуславливается не только проблемами биологического воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ), а также и высокой потребностью в таких материалах при разработке и усовершенствовании конструкций изделий радиоэлектроники, устройств защиты информации и военной техники.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Тема диссертационной работы соответствует подразделу 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передаче данных с использованием криптографии, квантово-криптографические системы» приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 гг., утверждённых Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19 апреля 2010г., № 585. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

### **Цель и задачи исследования**

Цель работы – Исследовать влияние углеродсодержащих покрытий на свойства экранов электромагнитного излучения

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить сферы применения экранов ЭМИ для определения приоритетных параметров защитных конструкций.
2. Изучить существующие в настоящее время типы и конструкции экранов ЭМИ;
3. Изучить перспективные патенты
4. Исследовать свойства наиболее эффективных углеродсодержащих покрытий
5. Дать аналитическую оценку существующей проблеме и определить перспективы развития

### **Личный вклад соискателя**

Содержание диссертации отражает личный вклад соискателя. В работах, выполненных в соавторстве, автор принимал участие в определении целей и задач исследования, а также в проведении самих исследований и обработке полученных результатов. Аналитическое исследование современных типов и конструкций экранов ЭМИ для решения современных проблем экранирования проводилось соискателем лично.

### **Опубликованность результатов диссертации**

Материалы диссертации были доложены на XI Международной научной конференции «Молодежь в науке – 2014» Минск, ноябрь 2014 г.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Функционирование любого технического средства информации связано с протеканием по его токоведущим элементам электрических токов различных частот и образованием разности потенциалов между различными точками его электрической схемы, которые порождают магнитные и электрические поля, называемые побочными электромагнитными излучениями.

Узлы и элементы электронной аппаратуры, в которых имеют место большие напряжения и протекают малые токи, создают в ближней зоне электромагнитные поля с преобладанием электрической составляющей. Преимущественное влияние электрических полей на элементы электронной аппаратуры наблюдается и в тех случаях, когда эти элементы малочувствительны к магнитной составляющей электромагнитного поля. Узлы и элементы электронной аппаратуры, в которых протекают большие токи и имеют место малые перепады напряжения, создают в ближней зоне электромагнитные поля с преобладанием магнитной составляющей. Преимущественное влияние магнитных полей на аппаратуру наблюдается также в случае, если рассматриваемое устройство малочувствительно к электрической составляющей или последняя много меньше магнитной за счет свойств излучателя.

Современные экранирующие и радиопоглощающие материалы При разработке конструкций экранов или поглотителей электромагнитных волн используются различные материалы, обладающие способностью отражать или поглощать электромагнитные излучения в определенном диапазоне частот. Следует отметить, что в природе не существует ни идеально отражающих, ни идеально поглощающих электромагнитную энергию материалов, поэтому подавление ЭМИ чаще всего обеспечивается за счет обоих процессов. Способность среды поглощать электромагнитное излучение определяется ее электрическими и магнитными свойствами, к которым относятся удельная электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости. Эти характеристики используются при описании процесса распространения электромагнитной волны и в общем случае являются нелинейными, тензорными, комплексными величинами. Поглощение электромагнитной энергии происходит за счет диэлектрических, магнитных потерь и потерь на проводимость, которые пытаются максимизировать для достижения максимума эффективности экранирования. Отражение электромагнитных волн происходит на любых неоднородностях в материале, а при конструировании экранов определяется различием волновых сопротивлений среды распространения волны и экрана. Довольно часто используют рассеивание плоского фронта

ЭМВ на различных неоднородностях структуры радиопоглощающего материала или конструкции для достижения более полного поглощения электромагнитной энергии и уменьшения уровня отраженного сигнала.

### **Углеродсодержащие проводящие материалы**

Характерным для углеродсодержащих резистивных композиций является то, что их проводимость обусловлена введением в структуру полимера проводящих компонентов. Полимер выполняет роль связующего, определяя физико-химические свойства композита, обеспечивая его механическую прочность. В качестве проводящих компонентов широко применяют дисперсные материалы – технический углерод и графит. Это обусловлено их высокой дисперсностью и сравнительно большим удельным объемным сопротивлением; к тому же технический углерод и графит являются химически инертными и достаточно термостойкими материалами. Их окисление начинается при температуре более 160 °С и сопровождается образованием оксида и диоксида углерода. Исключительно ценной особенностью некоторых видов технического углерода является его способность структурироваться в цепные комплексы, образуя высокоомные композиции с хорошими электрическими и теплофизическими свойствами.

#### **Комплексное электрическое и магнитное СВЧ-поглощение на металлоуглеродных нанокompозитах с ферромагнитными включениями**

Для образцов первой группы (образцы №1–3) СВЧ-поглощение вызывается вкладами как диэлектрических потерь в сильно аморфной углеродной матрице, содержащей продукты пиролиза, обладающей низким значением электропроводности, так и рассеиванием электрической и магнитной составляющей падающей электромагнитной волны ферромагнитными включениями.

Очевидно, что интенсивность возбуждаемых вихревых токов возрастает с ростом проводимости.

Таким образом, показано, что металлоуглеродные нанокompозиты с ферромагнитными металлическими включениями, являются эффективными поглотителями ЭМ-излучения. Установлено, что введение ферромагнитных наночастиц в углеродные наноструктурированные матрицы увеличивает коэффициент СВЧ-поглощения во всех исследуемых образцах. Экспериментально установлено, что СВЧ-поглощение в практически значимом

динамическом диапазоне может быть обусловлено, как составом и структурой углеродной матрицы, так и включениями ферромагнитных наночастиц.

В результате проведенного в работе аналитического исследования современных проблем человечества связанных с электромагнитным излучением, растущей напряженностью электрических и магнитных полей, была оценена острая необходимость создания высокоэффективных, надёжных и простых в эксплуатации экранов электромагнитного излучения и простых дешёвых технологий для их создания. Области применения таких экранов широки: решение проблем радиоэкологии, обеспечение электромагнитной совместимости электронного оборудования, снижение радиолокационной заметности объектов, защита живых организмов от повышенного электромагнитного фона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературы и патентных источников указал важность данных исследований. Из существующих конструкций экранов ЭМИ наиболее перспективными являются экраны из композитных материалов так как могут обладать гораздо большим перечнем различных свойств и параметров по сравнению с простыми гомогенными или металлическими конструкциями.

Особый интерес представляют многослойные экраны т. к. обладают дополнительным рассеиванием и многократным переотражением ЭМЭ на разделах с разной электромагнитной проницаемостью.

Анализ существующих покрытий экранов ЭМИ выделил особую перспективность углеродсодержащих покрытий за счёт уникальных свойств углерода: проводимость, теплопроводность, аномально низкая работа выхода электрона и т.д. Анализ патентных источников указал на возможные применения таких покрытий, на различные конструкции экранов ЭМИ и на перспективные сферы применения приоритетной из которых является космическая промышленность и освоение космоса.

Исследование углеродсодержащих покрытий показало широкий перечень материалов: шунгит, графит и т.д. применяемых для создания экранов ЭМИ, различные технологии их нанесения, широкий перечень получаемых свойств таких экранов. Подробное изучение перспективных материалов указало на целесообразность добавления в структуру покрытия ферромагнетиков: (Fe, Ni и Co) т.к. им свойственно возбуждение вихревых поверхностных токов Фуко.

В данной работе были исследованы образцы шунгита с добавлением частиц металлов (Fe, Ni и Co) и металлоуглеродного нанокompозита с ферромагнитными металлическими включениями, из АЧХ следует существенное превосходство нанокompозита перед образцами шунгита. Следовательно наноструктуризация и высокая степень упорядоченности структуры углерода в углеродсодержащем покрытии, а соответственно и увеличение проводимости плёнки являются основополагающими факторами дальнейших исследований.

Однако стоит отметить сложность технологии получения практически любого углеродсодержащего покрытия: пиролиз, плазмохимическое осаждение из газовой фазы, полимеризации из газовой фазы и т.д. такие технологии не являются дешёвыми и наносят серьёзный вред экологии. В связи с этим есть необходимость дальнейшего исследования таких покрытий и упрощения технологий их получения, для удешевления производства и соответствия современным экологическим требованиям

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Пласкавицкий С. А. Влияние реакционноспособного газа на ослабление эми текстильными материалами с покрытиями / В. Н. Кохнюк, С. А. Пласкавицкий, А. А. Казека // «Молодежь в науке – 2014» Материалы XI Международной научной конференции, Минск, 18-21 ноября 2014 г, с. 267

Библиотека БГУИР