

СОЗДАНИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОБНАРУЖИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

О.Н. Смольникова, М.В. Прокофьев, О.И. Крахин
Московский авиационный институт (ГТУ)
Научно-производственное предприятие «Радиострим»

С.Б. Бибииков
Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля

А.К. Черепанов
Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

Разработаны радиопоглощающие материалы, применение которых позволяет повысить обнаружительную способность антенных устройств подповерхностного зондирования (георадаров) за счет подавления электромагнитных помех в верхней полусфере. Материалы используют для создания укрытия георадаров в верхней полусфере. Такое укрытие представляет собой объемную многослойную структуру на основе пенополиуретана, состоящую из слоев с заданными резистивными свойствами. Высокий коэффициент поглощения обеспечивается применением углеродных наполнителей. Свойства материалов определяются сочетанием структуры пенополиуретана и физико-химическими свойствами углеродного наполнителя, что позволяет оптимизировать электрофизические свойства материалов для повышения эффективности работы георадара в целом.

Несмотря на резкое увеличение эффективности вычислительной техники, и технологий шумоподавления, решение вопросов защиты устройств подповерхностного зондирования (георадаров) от внешних помех методом экранирования в верхней полусфере остается важной конструкторской и материаловедческой задачей. Поиск новых материалов, экранирующих и поглощающих широкополосное излучение, остается актуальной задачей. Технические требования к радиоматериалам для этих целей очень высоки. С целью обеспечения электромагнитной совместимости, повышения эффективности экранировки, снижения веса конструкции требуется разработка новых объемных композиционных радиоматериалов. Следует отметить, что данные материалы должны, с одной стороны, выступать в качестве электромагнитного экрана, а с другой стороны, не приводить к значительному обратному отражению прямого сигнала, т.е. должны обеспечивать достаточную степень диссипации электромагнитного излучения (ЭМИ)[1].

Вопросы синтеза оптимальных композиционных радиопоглощающих материалов рассмотрены, например, в работе [2] (на основе радиопоглощающих диэлектриков) и в работе [3] (на основе структуры из диэлектрических слоев, разделенных электропроводящими пленками). Из результатов упомянутых выше работ следует, что при центральной рабочей частоте ~200МГц для экранировки антенн с коэффициентом поглощения ~20дБ потребуется слой радиопоглощающего материала не менее полуметра, что неприемлемо для георадаров.

Для создания эффективного радиопоглощающего укрытия георадара в верхней полусфере с приемлемыми размерами нами использованы многослойные объемные радиопоглощающие материалы (РПМ) с рассчитанным градиентом волнового сопротивления.

Разработанные материалы представляют собой объемную многослойную структуру, состоящую из двух - пяти слоев композиционного материала (КМ) с резистивными свойствами. Поглощающая способность многослойных КМ и их эффективный частотный диапазон работы зависят от количества и толщины слоев, а также от электрофизических параметров используемых КМ. Электрофизические свойства КМ можно варьировать в широких пределах путем подбора материала связующего и наполнителя.

В качестве связующего КМ использовали диэлектрический полимерный материал на основе пенополиуретана (ППУ). Такие КМ отличаются, с одной стороны, хорошими физико-механическими характеристиками и гибкостью, а с другой — позволяют реализовать более высокую эффективность поглощения ЭМИ за счет применения электропроводящих дисперсионных наполнителей на основе коллоидно-графитовых (КГ) суспензий. В настоящей работе образцы КМ с различными значениями проводимости были изготовлены методом пропитки в дисперсиях с различным содержанием углерода. Их электрофизические свойства зависят от физико-химических свойств КГ-суспензий и структуры ППУ. Полученные образцы слоев КМ, с нужными для оптимальных параметров укрытия георадара свойствами, отличаются составом КГ - покрытия, технологией его нанесения, плотностью и структурой ППУ.

Оптимальные способы нанесения графитового покрытия, как сообщается в работах [4,5], зависят от удельной поверхности исходного графита, дисперсионной среды графитовой суспензии (вода, этиловый спирт, изопропиловый спирт и др.), концентрации твердой фазы в суспензии, условий пропитки и условий сушки на различных диэлектрических подложках.

На основании проведенных в настоящей работе исследований, для получения покрытий с максимальными диэлектрическими потерями и малой диэлектрической проницаемостью, предложены ультрадисперсные суспензии окисленных в среде серной и азотной кислот графитов, как наиболее стабильные по технологическим и структурным параметрам [6,7]. Использовали графит со временем помола в вибрационной мельнице 3 часа (марки ТО-3) с последующим окислением при 120⁰С в течение 2-х часов.

В настоящее время вопрос влияния объемно-пористой структуры ППУ на резистивные (диэлектрические) свойства КМ в периодической литературе не описан. Поэтому особое внимание в проведенной работе уделено изучению связи электрофизических характеристик КМ с параметрами микроструктуры частиц углерода и макроструктуры ППУ, что имеет большое значение при разработке материалов с заданными свойствами.

ППУ представляют собой объемно-вспененные эластичные материалы с открытой пористостью, в которых воздух, находится в виде многочисленных пузырьков-ячеек [8].

Макроструктура ППУ характеризуется многими параметрами: линейными размерами ячеек, степенью их вытянутости и ориентацией по отношению к направлению вспенивания, степенью связности и плотностью, толщиной стенок, тяжей и т.д. Реальные образцы ППУ характеризуется

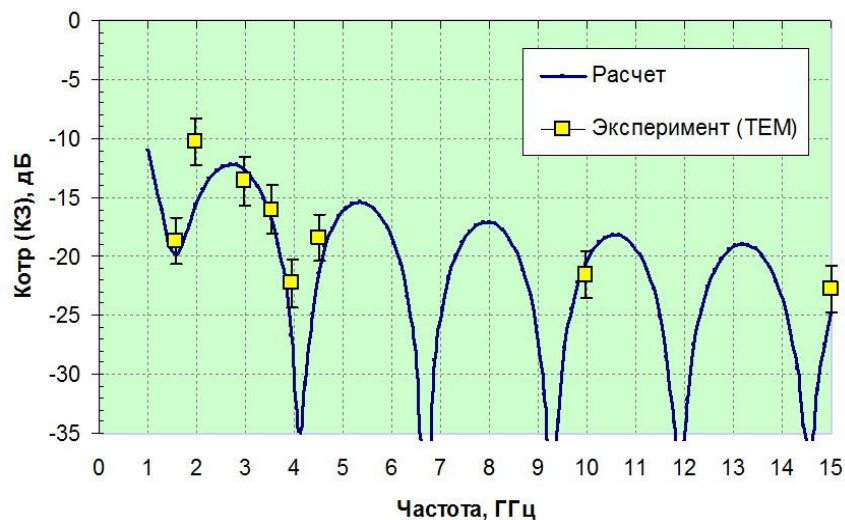


Рис.1. Модельная амплитудно-частотная зависимость коэффициента отражения и результаты испытаний материала.

значительной неоднородностью, которая присуща практически всем параметрам ячеистой структуры, а это приводит в свою очередь к разбросу электрофизических параметров КМ. Так, изменение кажущейся плотности, степени замкнутости, степени вытянутости, размеров ячеек достигает 15% и более даже у образцов, вырезанных из одного блока [8].

Значения относительной диэлектрической проницаемости исходного ППУ (перед пропиткой активными наполнителями) варьируются от 1,03 до 1,2, а тангенса угла диэлектрических потерь – от $7,1 \cdot 10^{-4}$ до $1,6 \cdot 10^{-3}$. Довольно сильное влияние на диэлектрическую проницаемость ППУ

оказывает плотность. При увеличении плотности материала увеличивается диэлектрическая проницаемость, а соответствующая зависимость выражается отрезком прямой.

Электропроводность разработанных КМ на основе ППУ зависит от типа КГ наполнителя, его концентрации, степени окисления частиц углерода, способа и степени диспергирования наполнителя в объемно-пористой структуре полимера, а также от температуры, влажности и некоторых других внешних факторов [9]. Для образцов с пористой структурой возникновение электрической проводимости происходит при определенных распределениях графитовых частиц на поверхности диэлектрического материала. Возникновение проводимости на диэлектрической поверхности происходит, когда графитовые частицы соприкасаются и образуют токопроводящие области (кластеры).

При изготовлении многослойных КМ толщиной от 40 до 100 мм в качестве полимерной основы использовали ППУ коммерческих марок, в качестве электропроводящего наполнителя - ультрадисперсный графит, образующий электропроводящую сетку таким образом, чтобы обеспечить удельную объёмную электропроводность σ_v близкую к заданной по условию оптимизации радиотехнических характеристик материала.

В процессе технологической подготовки КМ материалов проводили измерения σ_v бесконтактным методом по данным измерения коэффициента пропускания для плоского листа известной толщины на частоте $f_0 = 6.8$ ГГц. На основе этих данных расчетно-аналитическим методом выполнено моделирование электрофизических параметров многослойных РПМ. Расчетная частотная зависимость коэффициента отражения от плоской конструкции, состоящей из двух слоев КМ одинаковой толщины, и результаты измерений изготовленных двухслойных материалов рупорным методом показана на рис.1.



Рис.2. Диаграммы радиолокационного сигнала из подповерхностной среды георадара серии «ОКО-2» при наличии отражений из верхней полусферы.

Как видно на рис.1, результаты испытаний изготовленных двухслойных материалов показали соответствие полученных экспериментальных данных модельной кривой. Разброс экспериментальных данных относительно расчетной кривой вызван наличием неконтролируемой пространственной дисперсией электропроводящей фазы в слоях КМ.

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением частоты диэлектрическая проницаемость и высокочастотная проводимость КМ возрастают, вероятно, в связи с возрастанием емкостной связи соседних электропроводящих кластеров. При механическом воздействии на КМ можно регулировать проводимость материала, нарушая структуру проводящих связей: разрушая большие токопроводящие кластеры, тем самым,

увеличивая поверхностное сопротивление углеродного покрытия. При этом возрастает удельное сопротивление КМ без изменения концентрации графита.

Испытания георадаров серии «ОКО-2» с центральной частотой 400 МГц в комбинации с РПМ, состоящим из четырех слоев КМ, подтвердили целесообразность использования разработанного РПМ в качестве радиопоглощающего укрытия, обеспечивая снижение посторонних сигналов в верхней полусфере до -16...-20 дБ при отсутствии искажения зондирующего сигнала. Для этого радиопоглощающим материалом (РПМ) закрывают всю внешнюю поверхность приемо-передающего устройства. Эффект применения разработанного РПМ для георадара серии «ОКО-2», выражающийся в снижении интенсивности отражений из верхней полусферы, представлен на рис.2. в виде временных диаграмм радиолокационного сигнала из подповерхностной среды.

Литература

1. Горбатенко О.Н., Бибииков С.Б. Использование радиопоглощающих – радиорассеивающих материалов для защиты георадара от электромагнитных помех. Специальная техника, 2006, №3, стр.26.
2. Мухарев Л.А. Неотражающие поглотители электромагнитных волн. РЭ. 1996. Т. 41. № 8. С. 915.
3. Виноградов А.П., Лагарьков А.Н., Сарычев А.К., Стерлина И.Г. Многослойные поглощающие структуры из композиционных материалов. РЭ. 1996. Т. 41. № 2. С.158.
4. Кузнецов А.М., Прокофьев М.В., Черebaев И.В. и др. РПМ с покрытиями из коллоидных графитовых препаратов (КГП) на плоских и объемных носителях: Тр. 10-й Международной конференции по спиновой электронике (Секция 15-й Международной конференции по Гиромагнитной электронике и электродинамике). – Москва (Фирсановка), Россия, 16-18 ноября 2001 г., Т.1, С. 155.
5. Горбатенко О.Н., Крахин О.И., Прокофьев М.В. «Электрофизические свойства коллоидно-графитовых покрытий». Проектирование, конструирование и производство авиационной техники/ Под ред. проф. Ю.Ю.Комарова.-М.: Изд-во МАИ, 2005.-340с.
6. Топоров Г.Н., Семенов М.В., Елисеева Р.А., Хачатурьян Т.К., Татаренко В.А. Получение коллоидно- графитовых препаратов без стабилизирующих добавок. Коллоидный журнал. №3. 1978. С. 575-577.
7. Фиалков А.С., Топоров Г.Н., Чеканова В.Д. О возможности регулирования содержания функциональных групп на поверхности углеродных порошков // ЖФХ. Т.37. №3. 1963. С.566-569.
8. Дементьев А.Г., Тараканов О.Г. Структура и свойства пенопластов. – М.: Химия, 1983.-176 с.
9. Гуль В.Е., Шенфильд Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. – М., Химия, 1984. – 240 с.