

Исследование диэлектрических свойств конструкционных радиопоглощающих материалов

Н.В. Соннов^{1,2}, С.А. Леухин^{1,2}, А.Д. Гердт¹

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина)

²ОАО “Завод-Магнетон”

Аннотация: в работе было проведено исследование радиопоглощающих материалов с повышенной механической прочностью. Были изготовлены образцы конструкционных радиопоглощающих материалов методом ручной послойной пропитки. Проведены измерения коэффициента отражения и диэлектрической проницаемости в диапазоне 3,94 – 5,64 ГГц волноводным методом. На основании полученных данных была построена модель измерений коэффициента отражения в программном пакете CST. Результаты измерений коэффициента отражения были сравнены с построенной моделью. Как итог произведена оценка возможности разработки радиопоглощающих материалов описанным методом.

Ключевые слова: конструкционные радиопоглощающие материалы, NRW-метод, волноводный метод

1. Введение

Тематика радиопоглощающих материалов неразрывно связана с электромагнитным излучением (ЭМИ), роль и влияние которого в современном мире значительно возросла. Однако помимо положительных факторов использования ЭМИ, существует и его негативное влияние на различные объекты окружающей среды. В связи с этим возникает ряд определенных задач, среди которых можно выделить основные:

- Обеспечение электромагнитной совместимости компонентов РЭА
- Защита биологических и технических объектов от негативных факторов ЭМИ
- Радиолокационная маскировка различных военных объектов, а также защита высокочастотных систем связи. [1]

Исходя из вышеперечисленного имеется потребность в создании высокоэффективных радиопоглощающих материалов. Однако, в подавляющем большинстве случаев, радиопоглощающие материалы используются в качестве «покрытий» и крепятся на защищаемую поверхность (к примеру, пирамидальные поглотители, лаки и краски, плитки и листы, и т.д.). Такое использование радиопоглощающих материалов имеет ряд недостатков, среди которых основными являются высокая цена, повышенные масса и габариты конструкции, низкие физико-механические свойства. Поэтому особый интерес представляет разработка конструкционного поглощающего материала, позволившего бы свести к минимуму эти недостатки.

Целью настоящей работы является: определение возможности реализации конструкционных радиопоглощающих материалов (КРПМ) на основе молотого углеволокна, эпоксидных смол и армирующих стеклотканей; прогнозирование поглощающих свойств за счет снятия дисперсий диэлектрической проницаемости различных составов и моделирования на их основе КРПМ.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Образцы изготавливались вручную методом послойной пропитки армирующие стеклоткани композитом, состоящим из эпоксидной смолы и молотого углеволокна, с последующей вакуумацией при помощи насоса 2НВР-5ДМ. Составы образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Составы исследуемых образцов

№ состава	Массовая доля, %		
	Молотого углеволокна	Армирующей основы	Эпоксидной смолы
1	0	66,6	33,4
2	5	64,1	30,9
3	10	61,6	28,4
4	15	59,1	25,9
5	20	56,6	23,4

Исследование диэлектрических параметров и коэффициента отражения материала в диапазоне 3,94 – 5,64 ГГц проводилось на образцах в виде прямоугольных пластин толщиной 1,5 мм и линейными размерами 48×24 мм. Исследование диэлектрических параметров производилось с помощью методики Николсона-Росса-Вейра (NRW-метода) [2]. Принципиальная схема реализации NRW-метода представлена на рисунке 2.

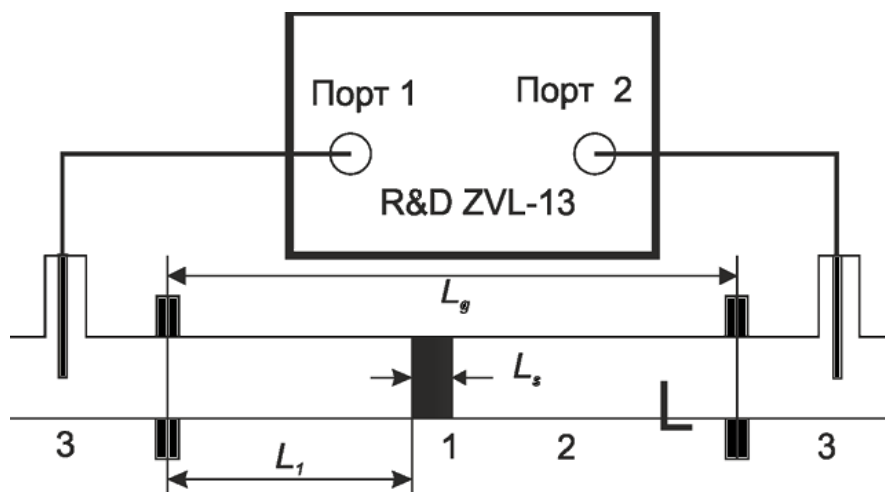


Рисунок 2. Принципиальная схема реализации NRW-метода.

В нашем случае $L_g = L_1 + L_s$, где L_g – это длина прямоугольного волновода, в котором производятся измерения: для сечения 48x24 мм – 20,2 мм, L_s – это толщина образца, равная 1,5 мм, L_1 – это расстояние от коаксиально-волноводного перехода до испытуемого образца. Расчет действительной части диэлектрических проницаемостей и тангенсов диэлектрических потерь производился NRW-методом при помощи программного обеспечения Materials Measurement Suite, предоставленного компанией Keysight Technologies. На рисунках 3 (а, б) приведены частотные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь для образцов конструкционных радиопоглощающих материалов с различной концентрацией молотого углеволокна.

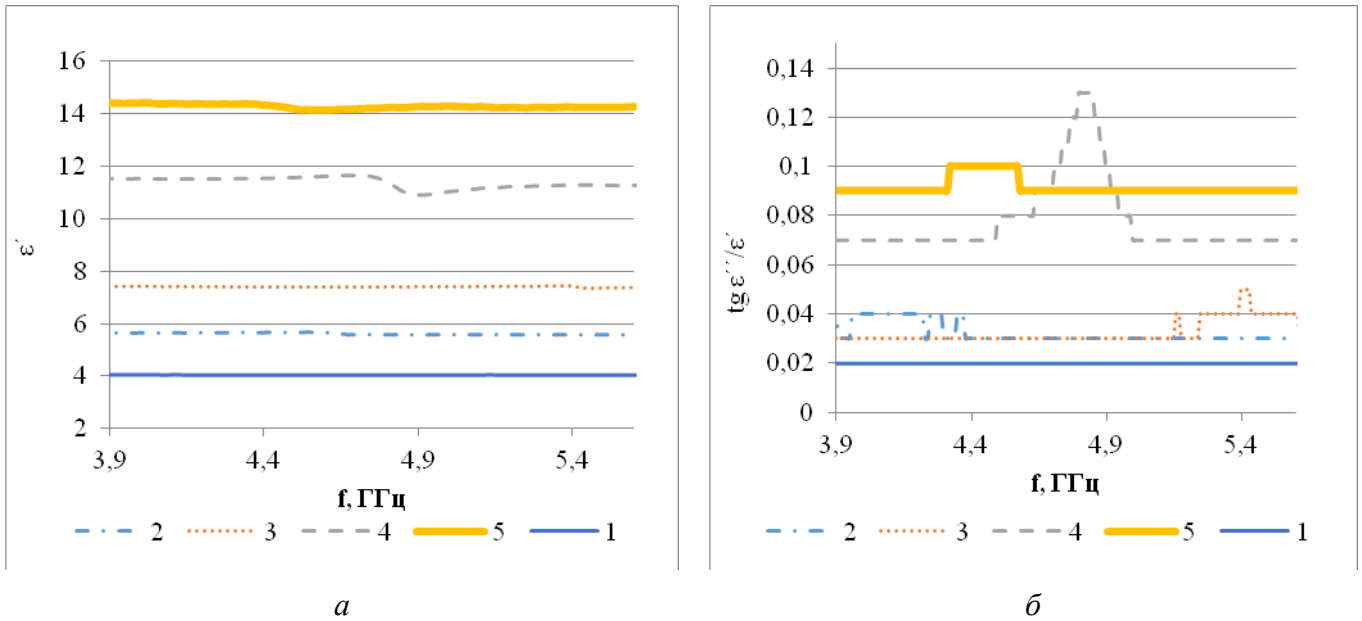


Рисунок 3. Исследованные параметры образцов КРПМ (а – действительная часть диэлектрической проницаемости; б – тангенс угла диэлектрических потерь)

Далее были произведены измерения коэффициента отражения в том же прямоугольном волноводе сечения 48x24 мм. При этом образец помещался в измерительную ячейку вплотную к металлическому экрану. Для сравнения частотных дисперсий коэффициента отражения образцов была построена экспериментальная модель в программном пакете CST на основе диэлектрических свойств, отраженных на рисунке 3. Сравнение модели КРПМ и измеренных значений коэффициента отражения, представлено на рисунке 4. Данное сравнение позволяет продемонстрировать незначительно расхождение измеренных данных и полученной модели КРПМ, что дает основания для привлечения программного пакета CST для прогнозирования поглощающих свойств материалов.

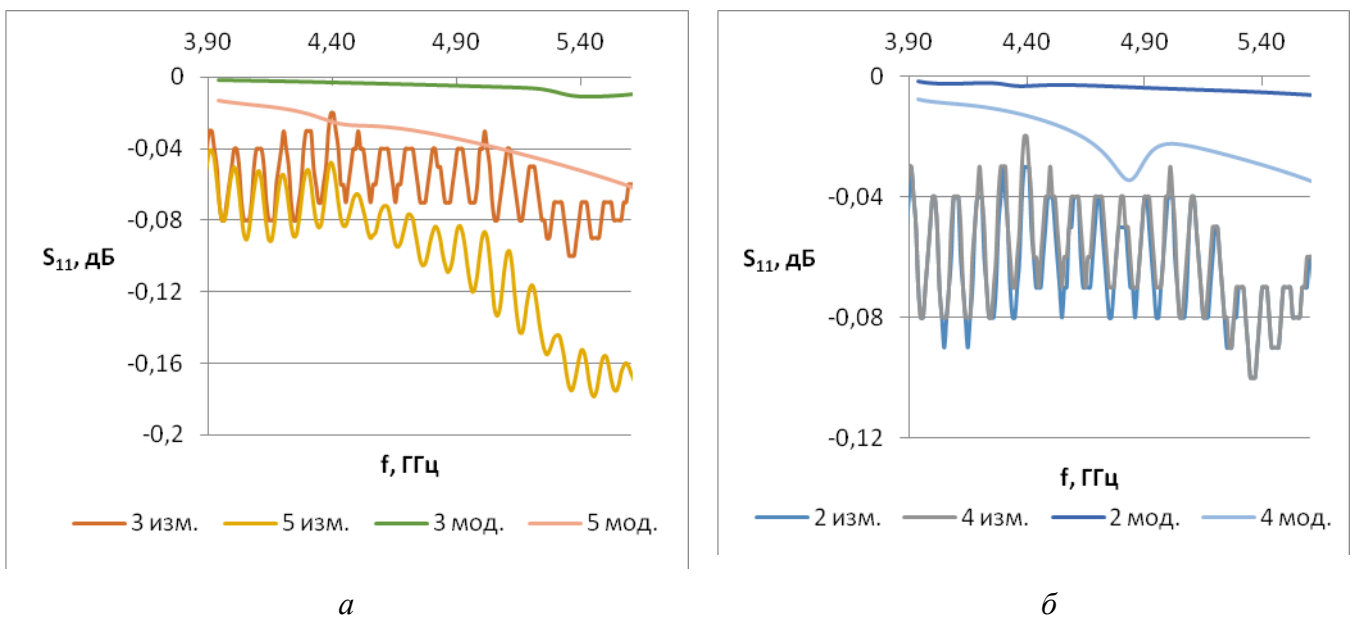


Рисунок 4. Сравнение измерений коэффициента отражения с моделью КРПМ (а – для составов 3 и 5; б – для составов 2 и 4)

Также были произведены измерения механических свойств полученных образцов для состава №3, а именно прочность на изгиб. Измерения проводились согласно ГОСТ Р 56810-2015 методом трехточечного изгиба на трех образцах [3]. Образцы для измерений представляли собой прямоугольные призмы размерами 10×2×40 мм. Измерения производились на универсальной испытательной машине РКМ 10.1. Полученные результаты представлены в таблице 2. Исходя из выборки можно вывести среднее значение прочности КРПМ при изгибе – 500 МПа.

Таблица 2. Результаты измерения прочности на изгиб

№ образца	Макс. нагрузка, Н	Предел прочности при изгибе, МПа
1	530	546,0
2	560	576,4
3	523	483,0
4	450	394,3

3. Заключение

Данные, представленные в таблице для исследуемого КРПМ позволяют сделать вывод о том, что данный материал обладает высокими значениями прочности на изгиб. Это в свою очередь позволяет классифицировать его как конструкционный материал, пригодный для изготовления различных элементов (корпусов, несущих частей и т.п.). Данные о диэлектрических свойствах КРПМ, отраженные на рисунке 3, позволяют создать модель в программном пакете CST, которая обладает малым расхождением с измеренными данными, что продемонстрировано на рисунке 4. Это позволяет произвести предварительный расчет поглощающих свойств КРПМ, что сократит затраты на предварительные испытания образцов и позволит автоматизировать данный процесс. В итоге можно заключить, что разработанный материал обладает большим потенциалом для разработки и практического применения, так как обладает как высокими прочностными характеристиками, так и прогнозируемыми поглощающими свойствами.

Список литературы

1. Латыпова А. Ф., Калинин Ю. Е. Анализ перспективных радиопоглощающих материалов // Вестник ВГТУ. 2012, №6. С. 70–76.
2. Григорьев А.Д. Измерение электрических параметров карбид-кремниевых поглотителей в микроволновом диапазоне.// Электроника и микроэлектроника СВЧ, 2016. С. 315-318
3. ГОСТ Р 56810-2015. Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов.