

ПОГЛОТИТЕЛИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

© 2016 г. В.А. БАННЫЙ, В.А. КОВТУН*

УО «Гомельский государственный медицинский университет», Беларусь,

*Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь

e-mail: bannyi@tut.by, vadimkov@yandex.ru

Развитие радио- и электронной промышленности, эксплуатация радиотехнических систем СВЧ привели к значительному повышению уровня электромагнитного фона, возникновению проблем электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности. Длительное и регулярное воздействие СВЧ-излучения на организм человека оказывает отрицательное влияние на мозг, сосуды, кровь, лимфатические узлы, зрение, провоцирует образование опухолей. Следует отметить, что совокупность аperiodических звуковых колебаний различной интенсивности и частоты (шум) наносит ощутимый вред здоровью человека. Шумы вызывают функциональные расстройства сердечнососудистой системы, оказывают вредное влияние на зрительный и вестибулярный анализаторы, снижают рефлекторную деятельность, что часто становится причиной несчастных случаев и травм. Таким образом, в связи со стремительным развитием научно-технического прогресса проблема воздействия на биологические объекты акустических и электромагнитных волн (ЭМВ) различного диапазона приобретает актуальность.

Поглотители энергии ЭМВ и радиопоглощающие материалы (РПМ) являются средством обеспечения требований электромагнитной экологии, электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности [1-3]. Перспективными среди них являются РПМ на основе композиционных термопластов [4-6]. Использование РПМ позволяет снизить радиолокационную заметность объектов военной техники и существенно расширяет возможности технологий Stealth [7]. В ряде случаев, полимерные композиционные материалы являются эффективными поглотителями энергии акустических волн. Полимерные композиционные материалы сочетают высокие радиопоглощающие, звукопоглощающие и теплозащитные свойства, и привлекают технологичностью и малой удельной массой; им присущи гибкость, легковесность.

Цель работы состояла в создании комбинированных поглотителей энергии электромагнитных и акустических волн на основе полимерных композитов и анализе потенциала их применения в решении проблем электромагнитной безопасности и электромагнитной экологии.

Объектами исследования выбраны листовые и волокнистые нетканые композитные РПМ на основе полиэтилена (ПЭ, ГОСТ 16803-070, ГОСТ 16337-77, ГОСТ 16338-77). В качестве функционального наполнителя (ФН) использовали магнитные и электропроводящие вещества: дисперсные магнитно-мягкий марганец-цинковый феррит (ММФ, ТУ 6-09-5111-84, марка 2500 НМС), технический углерод; углеродные волокна, углеродные ткани, стеклосферы.

Параметры экранирования и ослабления энергии СВЧ-излучения, проходящего через исследуемые РПМ и поглотители энергии СВЧ-излучения, оценивали рефлектометрическим методом по коэффициенту отражения (R) и ослаблению (S) энергии СВЧ-излучения в безэховой камере в диапазоне частот 2–4 ГГц.

Измерения скорости и затухания ультразвука (УЗ) в образцах РПМ проводили с

целью выяснения эффективности их использования как средства вспомогательной акустической изоляции.

Как известно [8], эффективность экранирования зависит от частоты источника излучения, его пространственного расположения по отношению к поглотителю энергии, а также от структуры и электрофизических свойств материала. Основной вклад в эффективность экранирования вносит поглощение электромагнитной энергии вследствие присущих РПМ диэлектрических и магнитных потерь, а также перехода ее в другие виды энергии, в частности, в тепловую. По структурно-конфигурационным признакам различают:

- слоистые поглотители с плоской или профилированной поверхностью, в том числе однослойные с изотропной или анизотропной структурой и многослойные;
- конфигурационные поглотители энергии излучения, отличающиеся определенной геометрией наружной и внутренней поверхностей (в виде выступающих шипов, пирамид, конусов, отверстий и прорезей различной формы), а также имеющие волокнистую, ячеистую или сотовую структуру.

Однослойные структурно-изотропные поглотители энергии не всегда могут обеспечить достаточно низкий коэффициент отражения ЭМВ в требуемом рабочем диапазоне частот, что обусловлено плохим согласованием волнового импеданса со «свободным пространством». Указанного недостатка лишены одно- и многослойные РПМ градиентного типа, задающие плавное, либо ступенчатое увеличение электрических и магнитных потерь в направлении распространения ЭМВ при сведении к минимуму разностей диэлектрических и магнитных проницаемостей воздуха и поглотителя на границе раздела сред. В первом случае градиент потерь определяется увеличением степени наполнения по толщине композитного РПМ. Для получения таких РПМ разработаны оригинальные методы, в частности, связанные с седиментационными эффектами в расплавах полимеров. В слоисто-неоднородных структурах градиент электромагнитных свойств зависит от количества слоев некоторой толщины, типа и содержания ФН в каждом слое.

В [9] разработан оригинальный способ изготовления волокнистых материалов на основе функционально-наполненных термопластов по технологии пневмораспыления композитного расплава (melt blowing). Он позволяет формировать полотна и формоустойчивые радиопоглощающие элементы. Способ состоит в экструзии гранулированной смеси полимера и радиопоглощающего наполнителя с последующей вытяжкой волокон газовым потоком и их осаждением на формообразующей подложке в виде нетканой волокнистой массы (рис. 1). В качестве ФН связующего при производстве волокнистого РПМ использовали порошок ММФ с размером частиц менее 50 мкм.

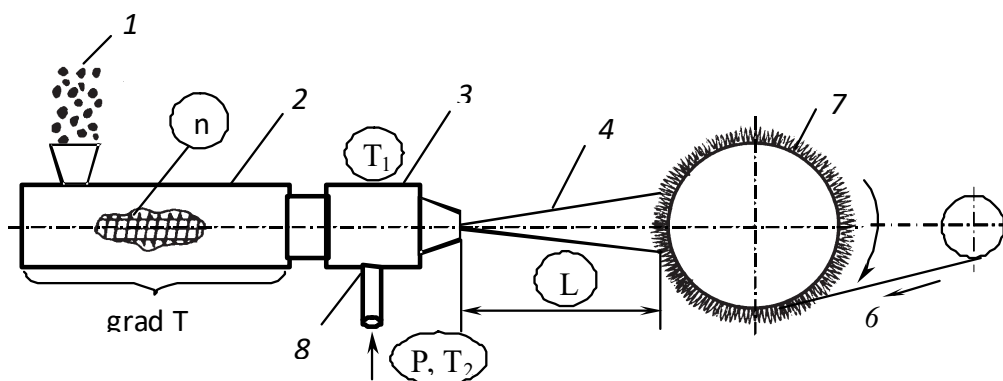


Рис. 1. Схема изготовления волокнистых композитных РПМ на базе технологии melt blowing. 1 – композитные полимерные гранулы; 2 – экструдер; 3 – распылительная головка; 4 – газополлимерный поток; 5 – формообразующая подложка; 6 – углеродная нить; 7 – волокнистая масса; 8 – сжатый воздух.

По описанному способу были изготовлены волокнистые РПМ с постоянным содержанием, а также с градиентом концентрации ФН по толщине полотна. Градиентное

распределение частиц наполнителя в РПМ обеспечивает хорошее согласование его волнового сопротивления с воздушным пространством. РПМ этого типа характеризуются повышенной эффективностью радиопоглощения в широком СВЧ-диапазоне при различных углах падения ЭМВ. Melt blowing позволяет вводить в полимерную матрицу в процессе производства волокнистых РПМ армирующие элементы – углеродные или металлические нити, углеродные ткани и металлические сетки различной структуры и электропроводности. Эти операции не требуют дополнительных приемов по скреплению волокон с армирующими элементами.

В безэховой камере в диапазоне частот ЭМИ 2–4 ГГц измерены радиофизические характеристики R и S некоторых листовых волокнистых и комбинированных РПМ (рис. 2). Размер образцов 40 x 30 см.

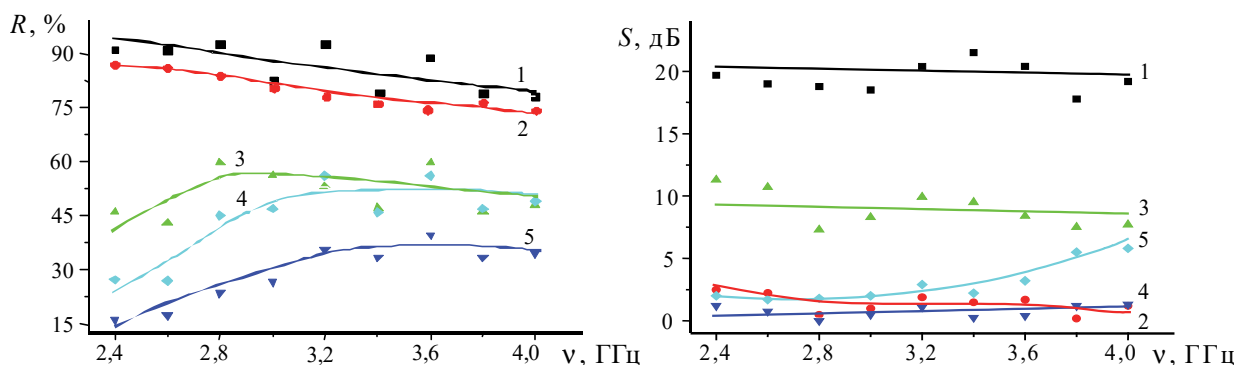


Рис. 2. Частотные зависимости R и S ЭМВ для образцов волокнистых комбинированных и монолитных РПМ: 1 – волокнистый ПЭ + металлическая сетка; 2 – волокнистый ПЭ + углеродные нити; 3 – волокнистый ПЭ + углеродная ткань Бусофит ТР3/2; 4 – монолитный ПЭ + ММФ (40 % масс, $d = 50\text{--}200$ мкм); 5 – блочный ПЭ + ММФ (40 % масс, $d = 50\text{--}200$ мкм) + стеклосферы (10 % масс, $d = 200\text{--}500$ мкм).

Видно, что образцы 1 и 2 относятся к материалам отражающего типа: значение R велико и сравнимо с отражением от металлического листа. Чем толще углеродная нить, выше ее электропроводность и масса углеродных нитей, приходящаяся на единицу длины образца, тем характернее приближение свойств композитного материала к металлическому листу. Для сравнения, на рис. 2, приведены радиофизические характеристики монолитных образцов РПМ. Образцы 4, 5 можно рассматривать в качестве поглотителей энергии излучения в исследуемом частотном диапазоне. Эти образцы содержат в значительном количестве ММФ, обеспечивающий магнитные потери. По радиофизическим характеристикам образец 3 занимает промежуточное положение между экранами поглощающего и отражающего типов.

Измерения скорости и затухания УЗ в образцах РПМ проводили с целью выяснения эффективности их использования как средства вспомогательной акустической изоляции. Образцы изготавливали в виде таблеток диаметром 18 мм и толщиной 3–10 мм. Таблетки помещали между алюминиевыми звукопроводами акустической измерительной ячейки в установке. Акустический контакт обеспечивался тонким слоем эпоксидной смолы. Ультразвуковой преобразователь (УЗП) возбуждался генератором электрических импульсов и излучал в исследуемый образец продольный акустический импульс. Излученные, отраженные и прошедшие звуковые сигналы регистрировались осциллографом НМ1507 фирмы НАМЕГ и выходом на персональный компьютер. Генератор импульсов Г5-54 возбуждал колебания частотой 2–4 МГц. Затухание α ультразвука в образце определяли по формуле $\alpha = \frac{\ln(u_1/u_2)}{2h}$, где h – толщина образца; u_1/u_2 – отношение амплитуд соседних переотраженных сигналов [10].

В табл. 1 приведены результаты акустических исследований образцов волокнистых и монолитных РПМ.

Таблица 1

Акустические параметры образцов волокнистых листовых melt-blown (№ 1, № 2) и монолитных (№№ 3-5) РПМ при частоте УЗП 2,95 МГц

№	Параметры	Скорость УЗ, км/с	Затухание УЗ, дБ/мм
1	ПЭ, $h = 3,4$ мм	3,56	18,4
2	ПЭ + ММФ (38 %, 50 мкм), $h = 7$ мм	не прозвучивался	>14,8
3	ПЭ+ММФ (50 % масс, 160-200 мкм)	1,9	8,8
4	ПЭ+ММФ (50%, 160-200 мкм) +стеклосферы (10%)	1,9	11,9
5	ПЭ+ММФ (50%, 160-200 мкм) +углерод. ткань	2,15	17,4

Из табл. 1 видно, что скорость распространения звука в исследуемых образцах изменяется от 1,9 км/с до 3,56 км/с, а затухание – от 1 мм^{-1} (8,8 дБ/мм) до $2,1 \text{ мм}^{-1}$ (18,4 дБ/мм) при частоте УЗП 2,95 МГц, т.е. разработанные РПМ являются хорошими поглотителями УЗ-волн. Даже ненаполненные волокнистые материалы (образец № 1) являются хорошими УЗ-поглотителями. Это обусловлено тем, что нетканое полотно имеет разветвленную пористую структуру, увеличивающую активную поверхность рассеяния акустических волн.

Таким образом, нетканые волокнистые и комбинированные РПМ и поглотители энергии СВЧ-излучения, изготовленные по технологии melt-blowing, являются перспективными средствами обеспечения требований электромагнитной безопасности и электромагнитной экологии. Они обладают низкой удельной массой, гибкостью, эластичностью, способностью принимать сложную форму. Такие РПМ сочетают в себе высокую эффективность экранирования ЭМВ наряду со звуко- и теплоизолирующими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения. – М.: Наука, 1982. – 164 с.
2. Алексеев А.Г., Гусева О.М., Семичев В.С. Композиционные ферромагнетики и электромагнитная безопасность. – С.-Пб.: НИИХ СПбГУ, 1998. – 296 с.
3. Макаревич А.В., Банний В.А. Радиопоглощающие полимерные композиционные материалы в технике СВЧ // Материалы, технологии, инструменты. 1999, т. 4, № 3, с. 24-32.
4. Банний В.А., Ковтун В.А. Поглотители энергии СВЧ-излучения на основе композиционных термопластов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. 2015, т. 10, № 2, с. 14-24.
5. Банний В.А., Ковтун В.А. Перспективы создания композиционных радиопоглощающих материалов на основе полимеров // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2015, т. 15, № 2, с. 125-128.
6. Банний В.А., Игнатенко В.А. Применение полимерных радиопоглощающих материалов в решении проблемы электромагнитной безопасности // Проблемы здоровья и экологии. 2016, № 3 (49), с. 9-13.
7. Алексеев А.Г., Штагер Е.А. Физические основы Stealth технологии // Вестник СПбО РАЕН. 1997, №1-2, с. 139-146.
8. Банний В.А., Гольдаде В.А., Пинчук Л.С. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным электромагнитным экраном: физические модели и эксперимент // Материалы, технологии, инструменты. 2008, № 2, с. 45-51.
9. Гольдаде В.А., Макаревич А.В., Пинчук Л.С. и др. Полимерные волокнистые melt-blown материалы. – Гомель: ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.
10. Данилевский В.П., Костюк Д.А., Кудинов Н.В., Кузавко Ю.А. Акустические спектроскопические методы и средства диагностики материалов и веществ. // Материалы, технологии, инструменты. 2003, т. 8, № 3, с. 104-112.