

ЭФФЕКТИВНЫЙ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЙ КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

М. Н. Кольчевская, И. Д. Парфимович, Н. А. Савкин

*Белорусский государственный университет, г. Минск
kolchevskaya.mary@gmail.com; paraan23@gmail.com
науч. рук. – Ф. Ф. Комаров, Е. С. Григорчук, ст. преп.*

Существует большое разнообразие электронных устройств, излучающих в процессе своего функционирования в окружающее пространство электромагнитные волны в широком частотном диапазоне. В результате высокий уровень избыточного излучения приводит к электромагнитному загрязнению окружающей среды, которое может негативно сказываться как на биологических объектах, так и на корректной работе электронных приборов [1]. С целью устранения влияния фонового электромагнитного излучения (ЭМИ) разработан новый тип пирамидального радиопоглощающего материала (РПМ) на основе многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), применимого в так называемых радиочастотных безэховых камерах (БЭК).

Ключевые слова: многостенные углеродные нанотрубки, эпоксидный полимер, композитный материал, электромагнитное излучение, экранирование.

Целью работы было определение основных параметров, обеспечивающих значительное поглощение ЭМИ, и изготовление радиопоглощающего композитного материала. В стандартной технологии изготовления поглотителей БЭК используются профилированные пенополиуретановые заготовки, которые пропитываются специальным составом, содержащим частицы углерода, либо смесь частиц углерода и феррита. Однако для достижения требуемого уровня ослабления электромагнитных помех необходимо большое количество наполнителя - не менее 60 вес.%, что сказывается на ухудшении механических характеристик материала и его долговечности. Использование МУНТ позволяет уменьшить концентрацию наполнителя для достижения эффективных поглощающих характеристик и, следовательно, позволит сохранить механические свойства исходной полимерной матрицы.

Методика изготовления радиопоглощающего композитного материала происходила в 3 этапа: выбор типа и изготовление наполнителя; определение геометрических параметров радиопоглощающего композита; создание на основе данных первых двух этапов пирамидальных РПМ (рис. 1) и их анализ.

На первом этапе основное внимание было направлено на выбор наилучших для данной работы углеродных нанотрубок (УНТ) и разработку методов модификации их свойств поверхности.

В качестве объектов исследования выступали композитные материалы на основе эпоксидной полимерной матрицы ЭД-20 с нанотрубками типа «Таунит-МД», выбранными за счет их большей протяженности (20 мкм) и меньшей запутанности по отношению к остальным видам [2]. Разработка эффективных методик диспергирования позволяет достичь высоких показателей при низких концентрациях наполнителя. По результатам исследований, смешивание МУНТ с полимером происходило за счет сфокусированного ультразвукового воздействия с добавлением поверхностно активных веществ [3], данный метод обеспечивает качественное сопряжение поверхности УНТ с полимерными матрицами.



Рис. 1. Фото пирамидального радиопоглощающего композитного материала на основе пенополиуретана, акрилового сополимера и углеродных нанотрубок «Таунит-МД»

На втором этапе определялись параметры, дающие наилучший результат поглощения. Ключевое влияние на характер взаимодействия ЭМИ с пирамидальными РПМ оказывает их геометрия: высота пирамид и угол при вершине пирамиды. При высоте пирамиды 7 см, используемой в данной работе, минимальная рабочая частота составляет 1 ГГц:

$$h = \frac{\lambda}{4}, f = \frac{c}{\lambda} = 1 \text{ ГГц} \quad (1)$$

Расчет количества переотражений осуществлялся по приближенному методу геометрической оптики, изображенному на рис. 2 [4]. Перемещение луча в полости РПМ описывается:

$$h_n = 2(H - \sum_{i=1}^n h_{i-1}) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} / (\operatorname{tg} \theta_{n-1} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}), \quad (2)$$

где

$$\theta_{n-1} = \alpha(n-1) + \theta \quad (3)$$

Условие выхода луча из поглощающей полости и определение количества переотражений:

$$\sum_{i=1}^{N+1} h_n < 0 \quad (4)$$

Выбраны следующие параметры пирамидальных РПМ: высота 7 см, длина основания пирамиды 3 см, угол при вершине $23^{\circ}40'8,37''$. Расчетное количество переотражений для углов падения 0° , 15° , 30° , 45° составили соответственно 8, 7, 6 и 4.

На третьем этапе формировался радиопоглощающий материал за счет пропитки пенополиуретановой заготовки композитной суспензией, изготовленной на первом этапе. Соотношение компонент в суспензии составило: 7 массовых частей воды, 1 массовая часть акрилового сополимера, 100 ммоль функциональных веществ, 5 масс.% УНТ в сухом остатке (при испарении воды).

Анализ представленных на рисунке 3 результатов частотной зависимости коэффициента отражения ЭМИ позволяет сделать вывод о том, что демонстрируемая пирамидальным РПМ характеристика отраженного ЭМИ сигнала близка по своим значениям аналогичной характеристике свободного пространства. При этом, по сравнению со свободным пространством, отмечается небольшое ослабление (3-4 дБ) коэффициента отражения.

Таким образом, на основе сформированного в работе материала могут быть изготовлены элементы безэховой камеры с рабочим диапазоном от 2 до 40 ГГц. Эффективность работы в диапазоне 2 – 15 ГГц подтверждается расчетными значениями коэффициента отражения от материала на металлической пластине – обеспечение, как минимум, -10 дБ при однократном отражении. Экспериментальные измерения готового РПМ проводились в диапазоне частот 15 – 40 ГГц. За счет выбранной геометрии пирамидального РПМ, на частотах от 1 ГГц обеспечивается, как минимум, 8 переотражений, что приводит к ослаблению сигнала на 40 – 50 дБ.

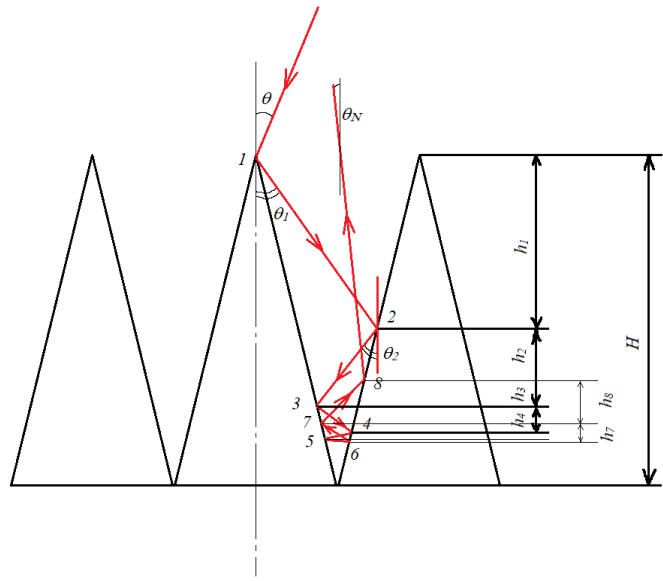


Рис. 2. Расчет переотражений в полости пирамидальных РПМ рассеивающего типа

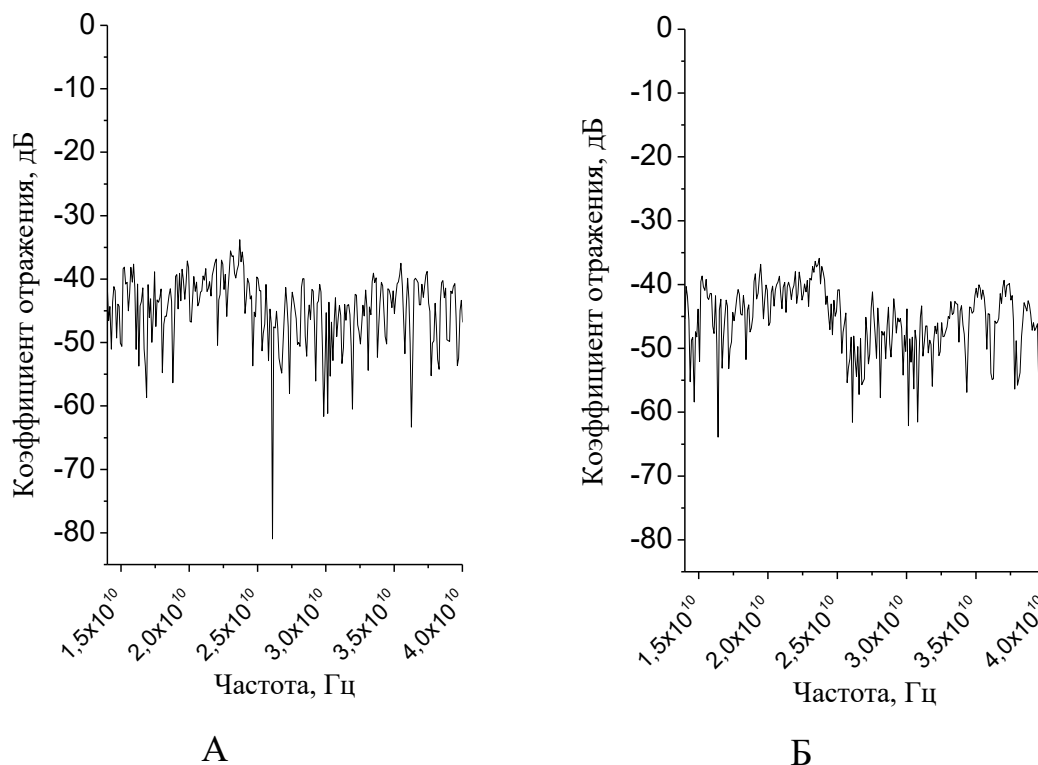


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитного излучения для: А – свободного пространства, Б – пирамидального радиопоглощающего материала

Библиографические ссылки

1. Clayton R.P. Introduction to Electromagnetic Compatibility. New Jersey: published by John Wiley & Sons, 2006. 1013 p.
2. Bai J.B., Allaoui A. Effect of the length and the aggregate size of MWNTs on the improvement efficiency of the mechanical and electrical properties of nanocomposites – experimental investigation // Compos A. 2003. Vol. 34, No. 8. P. 689 – 694.
3. Huang Y. Y., Terentjev E. M. Dispersion of carbon nanotubes: mixing, sonication, stabilization, and composite properties // Polymers. 2012. Vol. 4, No. 1. P. 275-295.
4. Мицмахер М.Ю., Торганов В.А. Безэховые камеры СВЧ. – Москва: Радио и связь, 1982. – 128 с.