

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.А. Пулко<sup>1)</sup>, А.М.А. Мохамед<sup>2)</sup>, А.М. Прудник<sup>3)</sup>, Л.М. Лыньков<sup>4)</sup>

<sup>1-4)</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
ул. П. Бровки 6, 220013 Минск, Беларусь,

<sup>1)</sup>pulko@bsuir.by, <sup>2)</sup>kafzi@bsuir.by, <sup>3)</sup>aleksander.prudnik@bsuir.by, <sup>4)</sup>leonid@bsuir.by

Предложена методика формирования модулей на базе ячеек с насыпным композитом, позволяющая формировать псевдопирамидальную поверхность, что позволяет увеличить общую эффективность экранирования ЭМИ разработанными модулями с насыпными композитами за счет снижения отражения электромагнитного излучения от поверхности образца и дополнительного рассеяния падающих электромагнитных волн активной поверхностью. Использование в составе насыпного композита вермикулита позволяет снизить общую массу модуля, в частности, при введении раствора. Исследовано влияние составов насыпных композитов на основе углеродосодержащих порошкообразных материалов в составе модулей с псевдопирамидальной поверхностью для экранов электромагнитного излучения на частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения в диапазоне частот 0.3-17 ГГц.

### Введение

Резистивные, магнитные и диэлектрические свойства порошкообразных материалов позволяют использовать их при создании экранов электромагнитного излучения (ЭМИ). Известны насыпные конструкции экранов, отличающиеся наличием экранирующих элементов на основе порошкообразных материалов [1-4]. Данный способ формирования элементов экранов позволяет обеспечивать требуемые экранирующие характеристики в заданном диапазоне частот. Кроме того, при этом значительно снижаются экономические издержки.

### Основная часть

Предлагается использовать для формирования экранов ЭМИ насыпные наборные конструкции на основе композиционных порошкообразных материалов. В качестве базы для формирования насыпных композитов использовались технический углерод и активированный уголь. Технический углерод является продуктом пиролиза или термоокислительного разложения углеводородов. Поверхность частиц технического углерода представляет собой неупорядоченный набор кристаллитов из нескольких решеток атомов углерода. Он имеет большую удельную поверхность, вследствие чего обладает высокой адсорбционной способностью. В качестве наполнителей использовался диоксид титана (TiO<sub>2</sub>), характеризующийся диэлектрическими свойствами, а также вермикулит, который является высокопористым материалом чешуйчатой структуры. Были приготовлены замесы в следующих сочетаниях (соотношение – 1:1): технический углерод–TiO<sub>2</sub>, технический углерод–вермикулит, активированный уголь–TiO<sub>2</sub>, активированный уголь–вермикулит.

Композитные наполнители упаковывались в ячейки из полиэтилена 5×5 см, из которых были сформированы псевдопирамидальные неоднородности, герметизированные с помощью лавсанполиэтиленового полотна. Сформированные экранирующие модули пропаивались по перпендикулярным направляющим, образуя ячейки 6×6 см. Полученные модули отличались гибкостью, низкой массой (1.2 кг при площади 1 м<sup>2</sup>), возможностью формирования конструкций необходимой формы и размеров. Для увеличения по-

глощающей способности сформированных конструкций каждая из ячеек сформированной конструкции заполнялась диэлектрическим водным раствором в три этапа: по 1, 2, 3 мл.

Для измерения коэффициентов передачи и отражения конструкций экранов ЭМИ использовался панорамный измеритель SNA 0.01–18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. Измерения выполнялись в автоматическом режиме. Осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя. Измерения параметров проводились на частотах диапазона 0.7-17 ГГц. ЭМИ данного частотного диапазона сопровождается работой систем мобильной связи, радиолокационных станций, средств вычислительной техники. Измерения параметров на каждой из частот проводились трехкратно.

Результаты измерений разработанных гибких конструкций экранов ЭМИ на основе углеродосодержащих порошкообразных материалов показали, что насыпные композиты в составе модулей с псевдопирамидальной поверхностью в комбинации технический углерод–TiO<sub>2</sub> позволяют получить значение коэффициента передачи в диапазоне частот 0.7-3.0 ГГц порядка (–1.5)–(–4.0) дБ при коэффициенте отражения ЭМИ (–6.0)–(–12.0) дБ. В результате введения водного раствора в объем каждой ячейки наблюдался резонанс характеристики передачи ЭМИ в пределах (–1)–(–5) дБ при коэффициенте отражения ЭМИ (–0.5)–(–5.5) дБ. В диапазоне 2-17 ГГц наблюдалось увеличение коэффициента передачи в пределах (–4)–(–16) дБ с максимальными значениями (–14)–(–16) дБ при введении 3 мл раствора в каждую ячейку модуля.

При использовании насыпного композита в комбинации технический углерод–вермикулит в диапазоне 0.7-2 ГГц значение коэффициента передачи составило (–40.0)–(–44.0) дБ при значениях коэффициента отражения (–2.0)–(–10.0) дБ. В результате трехэтапного введения водного раствора в объем ячеек модуля наблюдался резонанс характеристики коэффициента передачи в пределах (–1)–(–5) дБ при коэффициенте отражения ЭМИ (–2.0)–(–14.0) дБ. В диапазоне 2-17 ГГц

наблюдалось увеличение коэффициента передачи ЭМИ в пределах  $(-2.5) - (-9.0)$  дБ с незначительными колебаниями значений в данном пределе независимо от количества введенного расствора.

### Заключение

Исследовано влияние формы и состава наборных гибких конструкций экранов ЭМИ на основе углеродосодержащих порошкообразных материалов (технического углерода, активированного угля) на характеристики экранирования электромагнитного излучения в диапазоне частот 0.3-17 ГГц. В результате проведенных исследований показана возможность формирования ячеистой конструкции экрана ЭМИ, что приводит к увеличению эффективности экранирования ЭМИ во всем исследуемом диапазоне частот. Повышение общей эффективности экранирования ЭМИ разработанными гибкими конструкциями экранов достигнуто за счет снижения отражения ЭМИ от поверхности образца посредством дополнительного рассеяния падающих электромагнитных волн активной поверхностью образцов. Падая на такую поверхность, ЭМВ многократно отражается и теряет значительно больше энергии, чем при падении на ровную поверхность.

Полученные результаты позволяют рекомендовать сформированные конструкции экранов ЭМИ для электромагнитного экранирования СВЧ-источников и обеспечения экологической защиты обслуживающего персонала, пользователей ПК и медицинских и промышленных установок.

### Список литературы

1. Молодечкин М.О., Богуш В.А. Методика формирования и характеристики композиционного поглотителя электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе диоксида титана // Доклады БГУИР. 2015. № 4 (90). С. 109-115.
2. Кузьменко А.П., Родионов В.В. Природные углеродные микро- и нанообразования как порошковый поглотитель СВЧ-излучения // Будущее науки – 2013: материалы Международной молодежной научной конференции. Курск, 2013. С. 248 – 251.
3. Бойправ О.В., Борботько Т.В., Ганьков Л.Л. Конструкции экранов электромагнитного излучения на основе перлита и титаномагнетита // Сборник материалов конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР. Минск, 18–19 марта 2014 г. С. 326-327.
4. Неамах М.Р., Бойправ О.В., Соколов В.Б. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов очистки ваграночных газов // Докл. БГУИР. 2012. № 1 (63). С. 70-75.

## COMPOSITE CARBON-CONTAINING SHIELDS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

T.A. Pulko<sup>1</sup>), A.M.A. Mohamed<sup>2</sup>), A.M. Prudnik<sup>3</sup>), L.M. Lynkou<sup>4</sup>)

<sup>1-4</sup>) *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P. Brouki Str., 220013 Minsk, Belarus,*

<sup>1</sup>)*pulko@bsuir.by,* <sup>2</sup>)*kafzi@bsuir.by,* <sup>3</sup>)*aleksander.prudnik@bsuir.by,* <sup>4</sup>)*leonid@bsuir.by*

The technique of forming modules on the basis of cells with a bulk composite is proposed, which makes it possible to form a pseudo-pyramidal surface, which makes it possible to increase the overall shielding efficiency of electromagnetic fields developed by modules with bulk composites by reducing the reflection of electromagnetic radiation from the sample surface and additional scattering of the incident electromagnetic waves by the surface. The use of vermiculite in bulk composition allows to reduce the total weight of the module, in particular, when injecting solutions. The influence of compositions of bulk composites based on carbon-containing powdery materials in modules with a pseudo-pyramidal surface for electromagnetic radiation screens on the frequency dependences of transmission and reflection coefficients in the frequency range 0.3-17 GHz is studied.