

УДК 004.353.2 – 026.66:543.272.6

## ГИБКИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Т.А. ПУЛКО, Х.А.Э. АЙАД, А.М. МОХАМЕД, Л.М. ЛЫНЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 21 ноября 2016*

Приведен метод формирования гибких конструкций экранов электромагнитного излучения на основе заполнения ячеек порошковыми углеродсодержащими наполнителями. Исследованы частотные характеристики коэффициентов передачи и отражения ЭМИ разработанными конструкция в зависимости от типа используемого наполнителя в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

*Ключевые слова:* экран электромагнитного излучения, углеродсодержащий наполнитель, наборная конструкция, защита обслуживающего персонала.

### Введение

Известны конструкции экранов электромагнитного излучения (ЭМИ), изготовленные в виде засыпных конструкций, путем заполнения различных форм порошкообразным материалом либо смесью материалов с диэлектрическими, магнитными и резистивными свойствами [1]. По сравнению с конструкциями экранов ЭМИ на основе порошковых материалов в различных коллоидных связующих, а также посредством спекания используемых порошковых композитов, засыпные конструкции позволяют снизить затраты на их производство и обеспечить требуемые экранирующие характеристики в заданном диапазоне частот, путем варьирования состава порошковых смесей и формируемой толщины засыпной конструкции. Однако для таких экранов характерна большая масса, жесткость конструкций и, как следствие, сложность формирования экранов ЭМИ большой площади [2]. При этом для их применения в области экологии и медицины имеется задача по снижению веса и возможности создания переносных конструкций. Предложено использование новой методики формирования наборных конструкций экранов ЭМИ на основе порошковых материалов.

### Методика эксперимента

В качестве порошковых наполнителей использовались углеродсодержащие материалы: технический углерод и активированный уголь. Технический углерод представляет собой высокодисперсный аморфный наноматериал (размер частиц  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  см), который является продуктом пиролиза или термоокислительного разложения углеводородов. Поверхность частиц технического углерода представляет собой неупорядоченный набор отдельных кристаллитов из нескольких прочных решеток атомов углерода в зависимости от метода формирования. Активированный уголь представляет собой высокопористое вещество, которое получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения: древесного угля, каменноугольного кокса, нефтяного кокса, скорлупы кокосовых орехов и других материалов. Имеет большую удельную поверхность на единицу массы, вследствие чего обладает высокой адсорбционной способностью [2].

Порошковый наполнитель упаковывался в полиэтиленовые ячейки размером  $5 \times 5$  см, которые размещались по определенной схеме на поверхности двухслойного лавсан-полиэтиленового полотна посредством клейкой основы на расстоянии 1 см друг от друга, после чего покрывались вторым слоем лавсан-полиэтиленового полотна (рис. 1). Сформированные конструкции пропаивались по перпендикулярным направляющим, образуя ячейки  $6 \times 6$  см, заполненные одним из типов порошкового наполнителя: техническим углеродом (образец 1) и активированным углем (образец 2). Полученные конструкции отличаются гибкостью, низкой массой (масса конструкции площадью  $1 \text{ м}^2$  имеет массу порядка 1200 гр), возможностью формирования конструкций требуемой формы и размеров.

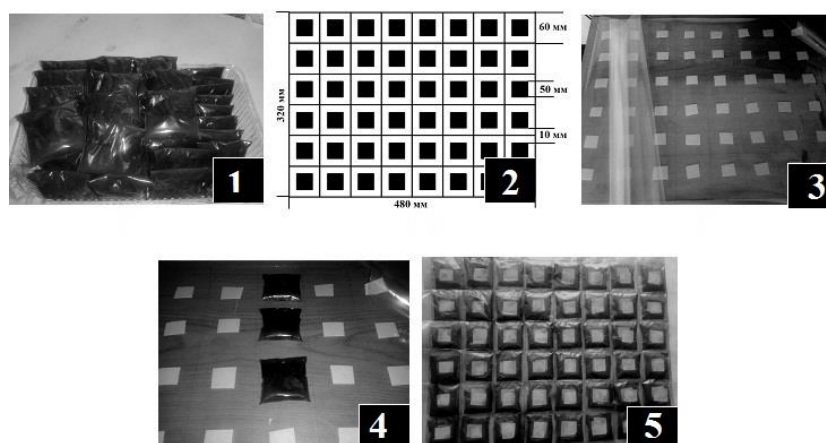


Рис. 1. Этапы формирования гибких конструкций экранов электромагнитного излучения на основе порошковых материалов: 1 – расфасовка порошкового материала в полиэтиленовых ячейках; 2 – схема размещения ячеек на полотне из лавсан-полиэтиленовой пленки; 3 – размещение клеевых элементов конструкции; 4 – закрепление ячеек с порошковым наполнителем на полотне; 5 – внешний вид образца гибкой конструкции экрана ЭМИ

Для измерения коэффициентов передачи и отражения конструкций экранов ЭМИ использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01...18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. Рабочий диапазон частот панорамного измерителя – 0,01...18 ГГц. Измерения выполнялись в автоматическом режиме.

С целью задания начальных параметров измерений (диапазона частот, вида измеряемого параметра) и систематизации его результатов использовалось специальное программное обеспечение. Осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя. Относительная погрешность проводимых измерений составляет  $\pm 1\%$ . Измерения параметров проводились на частотах диапазона 0,7...18 ГГц. ЭМИ данного частотного диапазона сопровождается работой систем мобильной связи, радиолокационных станций, средств вычислительной техники. При измерениях в пределах диапазона 0,7...3 ГГц значения частот изменялись с шагом 0,009 ГГц, а в пределах диапазона 3...17 ГГц – с шагом 0,063 ГГц. Измерения параметров на каждой из частот проводились трехкратно.

### Результаты и их обсуждение

Результаты измерений разработанных гибких конструкций экранов ЭМИ на основе углеродсодержащих порошковых материалов показали, что при заполнении ячеек гибкого экрана ЭМИ техническим углеродом значение коэффициента передачи в диапазоне частот 0,7...3,0 ГГц составляет  $-1,5 \dots -4,0$  дБ (рис. 2, а) при коэффициенте отражения ЭМИ  $-6,0 \dots -12,0$  дБ ( $-2,0 \dots -10,0$  дБ в режиме короткого замыкания) (рис. 3, а).

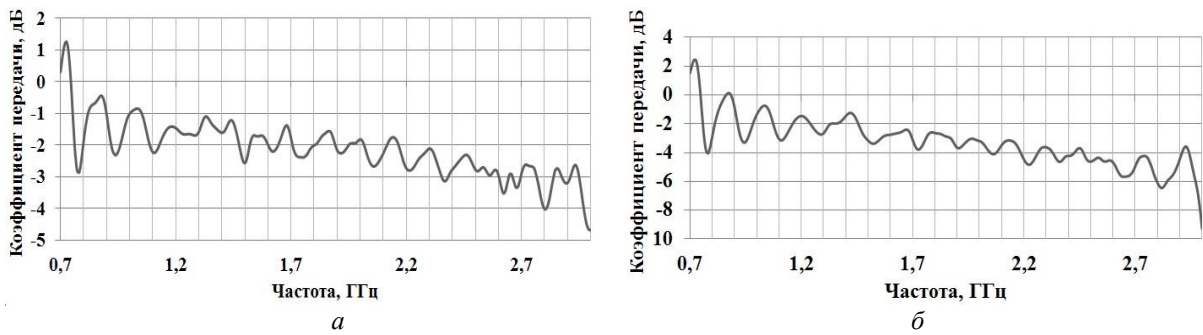


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента передачи в диапазоне частот 0,7...3,0 ГГц: *а* – технический углерод; *б* – активированный уголь

При использовании активированного угля в качестве порошкового наполнителя значение коэффициента передачи уменьшается и составляет  $-2,0...-6,0$  дБ (рис. 2, б) при значениях коэффициента отражения ЭМИ  $-2,0...-8,0$  дБ ( $-1,0...-8,0$  дБ в режиме короткого замыкания) (рис. 3, б) в рассматриваемом диапазоне частот.

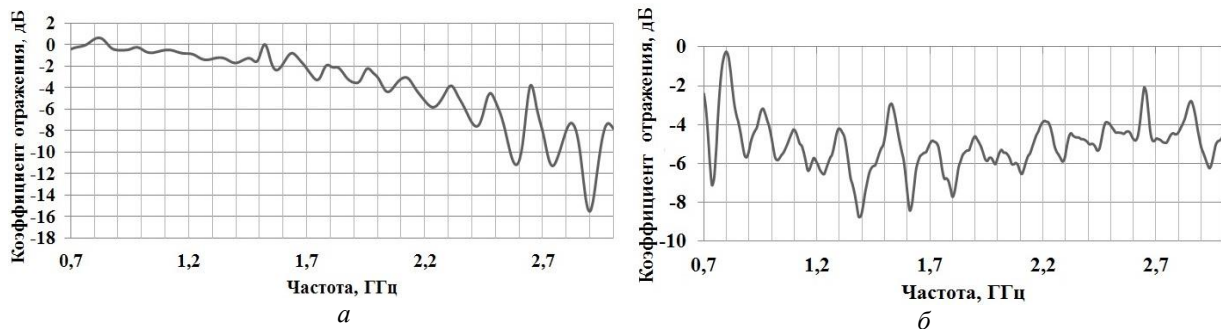


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания в диапазоне частот 0,7...3,0 ГГц: *а* – технический углерод; *б* – активированный уголь

С ростом частоты в диапазоне  $2,0...17,0$  ГГц наблюдается снижение величины коэффициента передачи на  $3,0...7,0$  дБ. Так, для образца с наполнителем на основе технического углерода коэффициент передачи составляет порядка  $-2,0...-7,0$  дБ при коэффициенте отражения ЭМИ  $-5,0...-18,0$  дБ (в режиме короткого замыкания коэффициент отражения находится в пределах  $-2,0...-14,0$  дБ, причем на частотах  $5,0...12,0$  ГГц наблюдается резонанс частотной характеристики) (рис. 4).

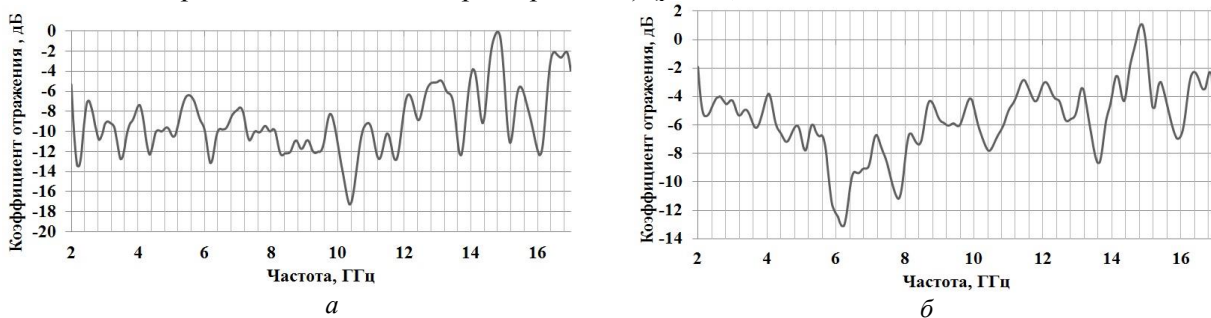


Рис. 4. Частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания в диапазоне частот 2,0...17 ГГц: *а* – технический углерод; *б* – активированный уголь

При заполнении ячеек гибкой конструкции порошком активированного угля значение коэффициента передачи изменяется в пределах  $-4,0...-8,0$  дБ. Величина коэффициента отражения ЭМИ с увеличением частоты составляет  $-3,0...-15,0$  дБ. В режиме короткого замыкания значения коэффициента отражения ЭМИ изменяются в пределах  $-4,0...-12,0$  дБ с резонансом частотной характеристики в пределах частот  $5,0...10,0$  ГГц.

### Заклучение

Исследовано влияние формы и состава наборной гибкой конструкции экрана на основе углеродосодержащих порошковых 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 излучения во всем исследуемом диапазоне частот. Повышение общей эффективности экранирования излучения 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 и пользователей ПК и медицинских и промышленных установок.

### FLEXIBLE ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING CONSTRUCTIONS BASED ON CARBON CONTAINING FILLERS

T.A. PULKO, H.A.E. AYAD, A.M. MOHAMED, L.M. LYNKOU

#### Abstract

The forming method of flexible electromagnetic radiation shielding constructions based on cells filling by the carbon containing materials is described. The frequency characteristics of electromagnetic radiation transmission and reflection coefficients in the range from 0.7 to 17 GHz of the designed constructions on the dependence of the utilized filler type are researched.

*Keywords:* electromagnetic radiation shield, carbon containing filler, inlaid construction, protection of the service stuff.

#### Список литературы

1. *Бойнрав 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.
2. *Бойнрав О.В., Неамах М.Р., Соколов В.Б.* // Докл. БГУИР. 2012. № 1 (63). С. 70–75.

УДК 621.396.624

### ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ DP-QPSK МОДУЛЯЦИИ В ПРИЕМНОМ УСТРОЙСТВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

В.Н. УРЯДОВ, А.С. ЗЕЛЕНИН, Я.В. РОЩУПКИН, Д.Н. КУРБЫКО, М.Л. ПШЕННИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 21 ноября 2016*

Приведены результаты обработки сигналов в приемном оптическом модуле для высокоскоростной волоконно-оптической системы передачи с модуляцией DP-QPSK.