

# НАСЫПНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Т.А. Пулко, Х.А.Э. Айад, А.М.А. Мохамед (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск)

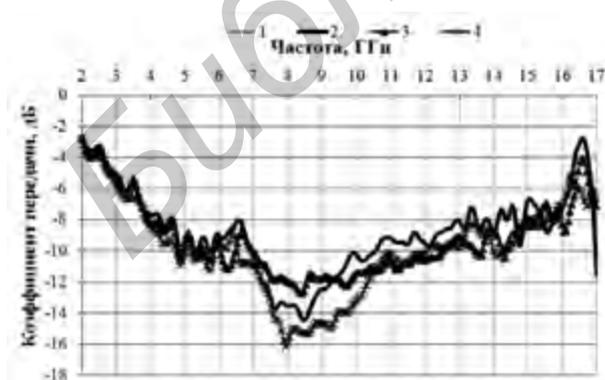
Резистивные, магнитные и диэлектрические свойства порошкообразных материалов различной природы позволяют использовать их при создании экранов электромагнитного излучения (ЭМИ). Известны конструкции экранов ЭМИ, отличающиеся методикой формирования экранирующих элементов конструкции на основе порошкообразных материалов: методом трафаретной печати [1], посредством спекания порошковых композитов [2], с использованием полимерных связующих [3], посредством формирования засыпных конструкций с различными технологическими особенностями [4, 5, 6]. Значительно снизить производственные затраты позволяют засыпные конструкции, при этом данный метод формирования элементов экранов ЭМИ позволяет обеспечивать требуемые экранирующие характеристики в заданном диапазоне частот. Для засыпных конструкций экранов характерны большая масса, жесткость конструкций и, как следствие, сложности при формировании экранов большой площади [2].

Предложено использование новой методики для формирования засыпных наборных конструкций на основе композиционных порошковых материалов. В качестве базы для формирования насыпных композитов 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. Имеет большую удельную поверхность на единицу массы, вследствие чего обладает высокой адсорбционной способностью. В качестве наполнителей использовался диоксид титана  $TiO_2$ , характеризующийся

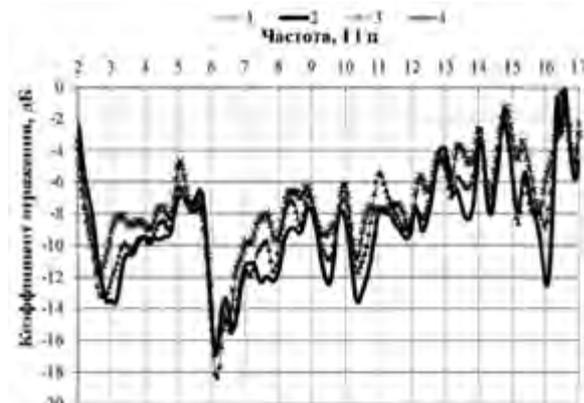
диэлектрическими свойствами, а также сыпучий материал — вспученный вермикулит, который является высокопористым экологически чистым материалом чешуйчатой структуры. Были получены замесы в соотношении 1:1 в следующих комбинациях: «технический углерод —  $TiO_2$ », «технический углерод — вермикулит», «активированный уголь —  $TiO_2$ », «активированный уголь — вермикулит».

Композитные наполнители упаковывались в полиэтиленовые ячейки размером  $5 \times 5$  см, из которых были сформированы псевдопирамидальные неоднородности, зафиксированные между двумя слоями лавсан-полиэтиленового полотна. Сформированные экранирующие модули пропавались по перпендикулярным направляющим, образуя ячейки  $6 \times 6$  см, заполненные одним из типов порошкового наполнителя. Полученные модули отличаются гибкостью, низкой массой (конструкция площадью  $1 \text{ м}^2$  имеет массу около 1 200 г), мобильностью, предоставлением возможности формирования конструкций требуемой формы и размеров. Для увеличения поглощающей способности сформированных конструкций каждая из ячеек сформированной конструкции инъекционно заполнялась диэлектрическим водным раствором в три этапа по 1, 2, 3 мл.

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 —  $0,01 \dots 18$  ГГц. Измерения выполнялись в автоматическом режиме. Осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя. Относительная погрешность проводимых измерений

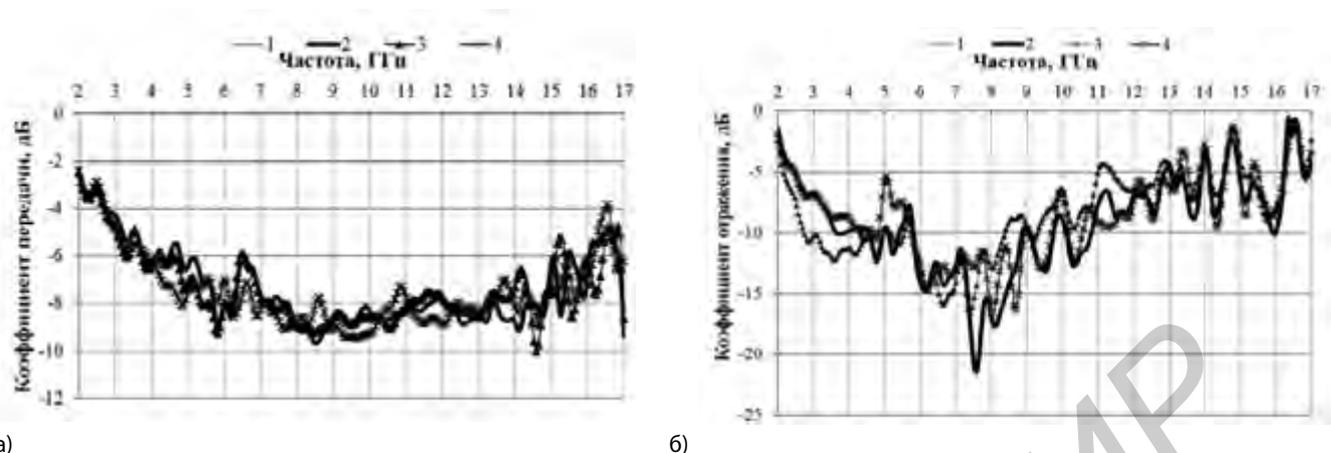


а) 1 — сухой композит; 2 — композит с инъекцией объемом 1 мл/ячейку; 3 — композит с инъекцией объемом 2 мл/ячейку; 4 — композит с инъекцией объемом 3 мл/ячейку.



б)

Рисунок 1. Частотная зависимость коэффициента передачи (а) и коэффициента отражения ЭМИ (б) насыпных композиционных модулей на основе композита типа «технический углерод —  $TiO_2$ » в диапазоне частот  $2,0 \dots 17$  ГГц.



а) 1 — сухой композит; 2 — композит с инъекцией объемом 1 мл/ячейку; 3 — композит с инъекцией объемом 2 мл/ячейку; 4 — композит с инъекцией объемом 3 мл/ячейку.

б) Рисунок 2. Частотная зависимость коэффициента передачи (а) и коэффициента отражения ЭМИ (б) насыпных композиционных модулей на основе композита типа «технический углерод — вермикулит» в диапазоне частот 2,0...17 ГГц.

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. Измерения параметров на каждой из частот проводились трехкратно.

Результаты измерений разработанных гибких конструкций экранов ЭМИ на основе углеродсодержащих порошковых материалов показали, что насыпные композиты в составе модулей с псевдопирамидальной поверхностью в комбинации «технический углерод —  $TiO_2$ » 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 ( $-2,0...-10,0$  дБ в режиме короткого замыкания). При инъекционном трехэтапном введении водного раствора в объем каждой ячейки модуля наблюдается резонанс характеристики коэффициента передачи ЭМИ в пределах  $-1...-5$  дБ при коэффициенте отражения ЭМИ  $-0,5...-5,5$  дБ. С ростом частоты в диапазоне 2...17 ГГц наблюдается увеличение коэффициента передачи ЭМИ в пределах  $-4...-16$  дБ с максимальными значениями  $-14...-16$  дБ при введении 3 мл раствора в каждую ячейку модуля. При этом коэффициент отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания находится в пределах  $-2...-16$  дБ ( $-2...-10$  дБ при введении раствора в каждую ячейку модуля в объеме 3 мл) (рис. 1).

При использовании насыпного композита в комбинации «технический углерод — вермикулит» в диапазоне 0,7...2 ГГц значение коэффициента передачи составляет  $-40,0...-44,0$  дБ при значениях коэффициента отражения ЭМИ  $-2,0...-10,0$  дБ ( $-1,0...-3,5$  дБ в режиме короткого замыкания). При инъекционном трехэтапном введении водного раствора в объем

каждой ячейки модуля наблюдается резонанс характеристики коэффициента передачи ЭМИ в пределах  $-1...-5$  дБ при коэффициенте отражения ЭМИ  $-2,0...-14,0$  дБ ( $-0,5...-5,0$  в режиме короткого замыкания). С ростом частоты в диапазоне 2...17 ГГц наблюдается увеличение коэффициента передачи ЭМИ в пределах  $-2,5...-9,0$  дБ, с незначительными колебаниями значений в данном пределе независимо от количества введенного раствора. При этом коэффициент отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания находится в пределах  $-2...-20$  дБ (рис. 2).

Исследовано влияние состава насыпного композита на основе углеродсодержащих порошковых материалов в составе модулей с псевдопирамидальной поверхностью для экранов ЭМИ на характеристики экранирования электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,3...17 ГГц. Предложена методика формирования модулей на базе ячеек с насыпным композитом, позволяющая формировать псевдопирамидальную поверхность, что дает возможность увеличить общую эффективность экранирования ЭМИ разработанными модулями с насыпными композитами за счет снижения отражения ЭМИ 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 инъекций раствора. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанные модули с насыпными композитами для электромагнитного экранирования СВЧ-источников, обеспечения экологической защиты пользователей ПК, обслуживающего персонала медицинских и промышленных установок.

### Литература

1. Молодечкин М.О. Методика формирования и характеристики композиционного поглотителя электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе диоксида титана / М.О. Молодечкин, В.А. Богуш // Доклады БГУИР. — 2015. — № 4 (90). — С. 109—115.
2. Кузьменко А.П. Природные углеродные микро- и нанобразования как порошковый поглотитель СВЧ-излучения / А.П. Кузьменко, В.В. Родионов // Будущее науки — 2013: материалы Международной молодежной научной конференции. — Курск, 2013. — С. 248—251.
3. Ганьков Л.Л. Радиопоглощающие покрытия на основе вспученного вермикулита и полимерных связующих материалов // Технические средства защиты информации: Тезисы докладов XIII Белорусско-российской научно-технической конференции, 4—5 мая 2015 г., Минск. — Минск: БГУИР, 2015. — С. 65—66.
4. 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.
5. Неамах М.Р., Бойправ О.В., Соколов В.Б. // Докл. БГУИР. 2012. № 1 (63). С. 70—75.