

## РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ И РАДИОЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники

<sup>2</sup>Научный инженерный центр «Плазмотек» ФТИ НАН Беларуси  
г. Минск, Беларусь

*The article describes the investigation of the carbon-containing materials on their shielding properties for creation of materials for suppression of the electromagnetic radiation. Frequency behavior of electromagnetic radiation attenuation and reflection of the samples in the band of 0.5-18 GHz was studied. The electromagnetic radiation attenuation and reflection properties provided by the samples of carbon-containing materials with geometrical irregularities of the surface (powder schungite) are presented.*

### Введение

Целью работ является разработка технологий изготовления отделочных и строительных материалов, которые находят применение для создания защищенных помещений специального назначения, для защиты от электромагнитного оружия; для снижения радиолокационной заметности объектов военной техники, а также для защиты биологических объектов от воздействия излучений РЭА бытового и промышленного назначения, создания измерительных помещений и камер [1, 2].

Радиопоглощающие и радиоэкранирующие материалы могут быть использованы при строительстве зданий и сооружений, и при проведении отделочных работ внутри помещений [3, 4]. Основным принципом экранирования такими материалами является перенаправление энергии колебаний за счет отражения от поверхностей, а также на поглощении энергии волн внутри материалов. При этом для увеличения эффективности экранирования предпочтение отдается многослойным (т.е. гетерогенным) структурам из материалов с различными электромагнитными свойствами, с целью снижения массогабаритных характе-

ристик экранов. Однако, хотя массогабаритные характеристики экранирующих конструкций имеют существенное значение, на первый план выступают требования по технологичности, с точки зрения соответствия которым предпочтение должно отдаваться отделочным материалам, в силу возможности их использования при строительстве и отделке помещений сложной формы, с геометрически неоднородными стенами и т.п. [5].

В данной работе исследуются свойства строительных материалов, которые могут быть приготовлены из цемента и шунгита. Шунгит – минерал с равномерным распределением высокодисперсных кристаллических силикатных частиц в аморфной углеродной матрице, который по свойствам связывания воды близок к минеральным веществам, входящим в состав цемента ПЦ 500 Д20.

### Эксперимент

Были приготовлены несколько групп углеродсодержащих строительных материалов. Первая представляла собой сухую смесь 40 % шунгита и 25 % цемента марки ПЦ 500 Д20, которая затем разбавлялась 35 % воды. Вторая — сухую смесь 40 % шунгита и 35 % цемента марки ПЦ 500 Д20, которая затем разбавлялась 25 % воды. Третья — сухую смесь 35 % шунгита и 35 % цемента марки ПЦ 500 Д20 и 25 % хлорида кальция, которая затем разбавлялась водой. Первый раствор наносился на плотные трикотажные подложки слоем в 4 мм, а также на подложку с находящейся на ней металлической сеткой (диаметр — 0,5 мм, размер ячеек — 2,5×2,5 мм). Вторым раствором наносился слой в 4 мм на форму из расположенных (с шагом 48 мм), усеченных восьмиугольных пирамид высотой 30 мм с размерами сечения и основания 11×11 мм и 20×20 мм. Третий раствор наносился слоем в 4 мм на основания из трикотажа и картона, представляющего собой расположенные рядами четырехугольные пирамиды высотой 50 мм с размерами основания 50×50 мм (с расстоянием между рядами 20 мм).

Эффективность экранирования ЭМИ материалом оценивалась соотношением между напряженностями электрического поля в точке пространства при отсутствии и наличии в ней этого материала и характеризовалась коэффициентами отражения и передачи ЭМИ.

Для исследования экранирующих характеристик использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, работающий по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн.

Измерения проводились в диапазоне от 0,5 до 18 ГГц. Полосы качания частоты измерителя: при измерении коэффициента отражения  $S_{11}$  — 0,5–3 ГГц и 2–18 ГГц, а при измерении коэффициента передачи  $S_{21}$  — 0,01–3,0 ГГц и 2–18 ГГц с количеством частотных точек, в которых проводятся измерения, равным 256 в каждом из указанных диапазонов. В каждой из 256 частотных точек измерение выполнялось по 3 раза с усреднением результата.

### Результаты и обсуждение

Зависимость коэффициентов передачи экспериментальных образцов экранирующего отделочного материала от частоты в диапазонах 0,5–3 ГГц и 2–18 ГГц, показаны на рис. 1.

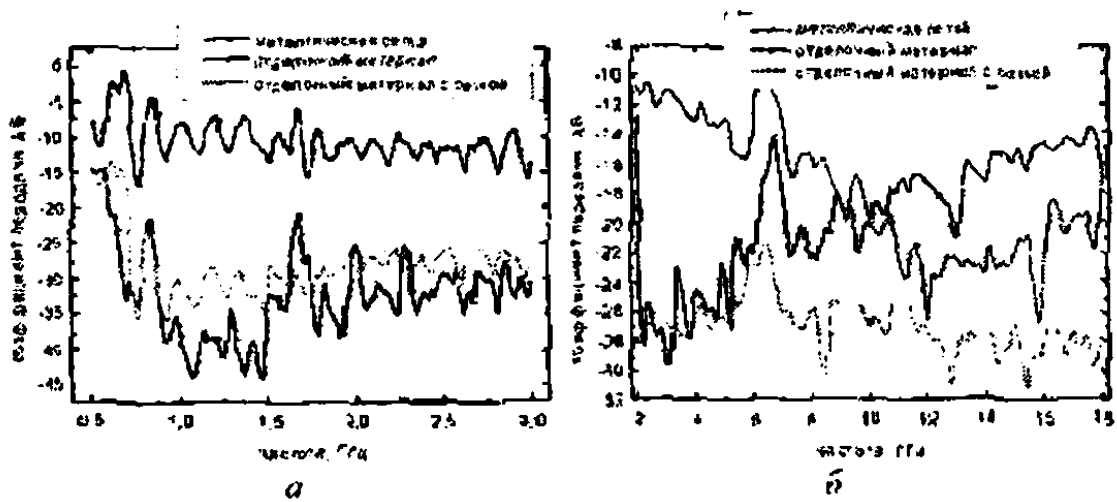


Рис. 1. Значения коэффициентов передачи материала с шунтитом:  
 а — в диапазоне 0,5–3 ГГц; б — в диапазоне 2–18 ГГц

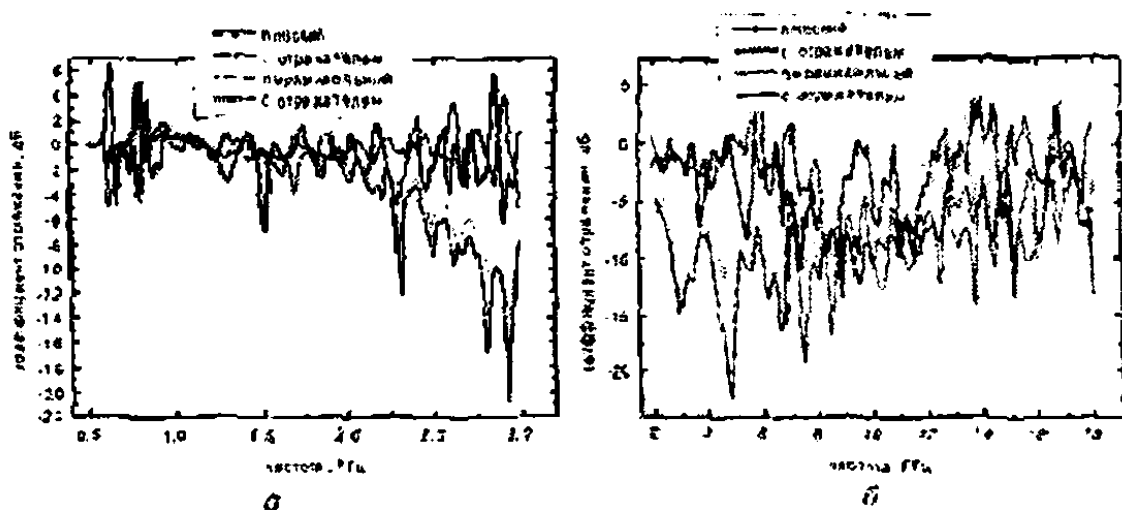


Рис. 2. Значения коэффициентов отражения углеродсодержащего материала:  
 а — в диапазоне 0,5–3 ГГц; б — в диапазоне 2–18 ГГц

Из рис. 1 видно, что значения коэффициентов передачи исследуемых образцов в диапазоне 0,5–3 ГГц составили до –10 дБ и при использовании отделочного материала вместе с сеткой до –30 дБ, а в диапазоне 2–18 ГГц коэффициенты передачи составили –10–(–22) дБ и при использовании отделочного материала вместе с сеткой –23–(–29) дБ.

Зависимость коэффициентов отражения образцов цементно-шунгитовой растворной смеси от частоты в диапазонах 0,5–3 ГГц и 2–18 ГГц, показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что значения коэффициентов отражения плоских образцов в диапазоне 0,5–3 ГГц характеризуется относительно невысокой отражательной способностью –1–(–5) дБ и до –1–(–8) дБ для образцов с пирамидальной поверхностью, а в диапазоне 2–18 ГГц составляют –5–(–7) дБ и до –5–(–12) дБ для образцов с пирамидальной поверхностью. Кроме того, добавление слоя меди принципиально не поменяло характера зависимости коэффициентов отражения от частоты в диапазоне 0,5–3 ГГц.

Зависимость коэффициентов отражения и передачи образцов цементно-шунгитовой растворной смеси от частоты в диапазонах 0,5–3 ГГц и 2–18 ГГц, показаны на рис. 3 и 4, соответственно.

Из рис. 3 видно, что цементно-шунгитовый раствор в диапазоне 0,5–3 ГГц характеризуется относительно невысокой отражательной способностью –5–(–15) дБ, а в диапазоне 2–18 ГГц значения коэффициентов отражения составляют –2,5–(–20) дБ.

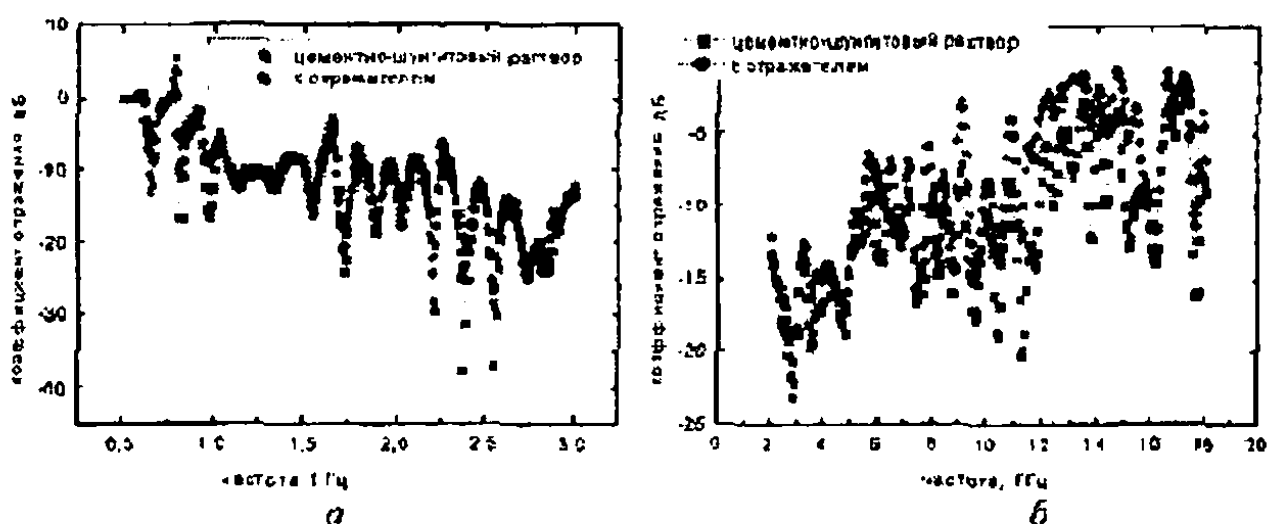


Рис. 3. Значения коэффициентов отражения цементно-шунгитовой растворной смеси: а — в диапазоне 0,5–3 ГГц; б — в диапазоне 2–18 ГГц

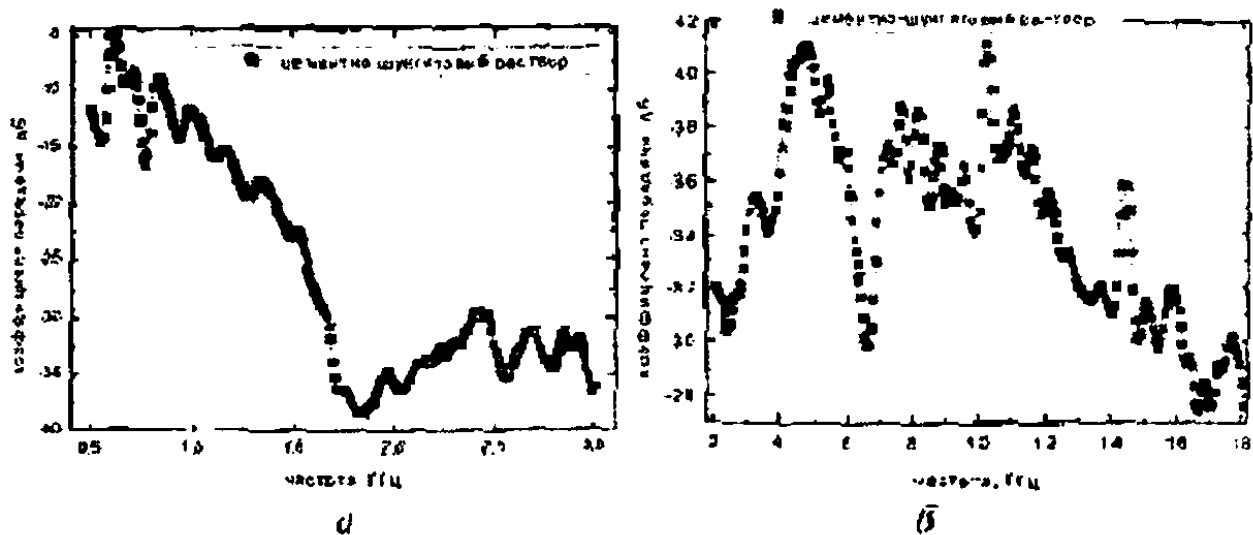


Рис. 4. Значения коэффициентов передачи цементно-шунгитовой растворной смеси:  
 а — в диапазоне 0,5–3 ГГц; б — в диапазоне 2–18 ГГц

Из рис. 4 видно, что значения коэффициентов передачи образцов цементно-шунгитового раствора в диапазоне 0,5–3 ГГц составили от -5 дБ до -35 дБ, а в диапазоне 2–18 ГГц коэффициенты передачи составили -26–(-42) дБ.

### Заключение

Показана возможность создания отделочных материалов для защищенных помещений на основе шунгита. Исследованы их экранирующие характеристики. Приводятся значения коэффициентов отражения и передачи отделочных материалов на основе шунгита в частотном диапазоне 0,5–18 ГГц. Показано, что отделочный материал на основе шунгита характеризуется значениями коэффициентов передачи от -10 дБ до -30 дБ.

### Список использованных источников

1. Колбун Н.В., Борботко Т.В., Прудник А.М., Лыньков Л.М. Широкодиапазонные экраны ЭМИ для систем защиты информации и защиты биологических объектов // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию МРТИ-БГУИР Минск, 19 марта 2009. — Минск, БГУИР, 2009. С. 10–13, С. 182–185.
2. Lynkov L., Proudnik A., Borbotko T., Kolbun N. Wideband electromagnetic shields and absorbers // Korean-Belarusian joint workshop on nanocomposite technology / Daejeon, Korea: The Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), April 4–7, 2009. P. 52–86.

3. Морохов, И.Д. Структура и свойства малых металлических частиц / И.Д. Морохов, В.И. Петинков, Л.И. Трусов, В.Ф. Петрунин // УФН, 1981. — Т. 133. — № 4. — С. 653-692.
4. Морохов, И. Д. Физические явления в ультрадисперсных средах / И.Д. Морохов, Л.И. Трусов, В.Н. Лаловок. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 224 с.
5. Морохов, И.Д. Ультрадисперсные металлические среды / И.Д. Морохов, Л.И. Трусов, С.П. Чижжик — М.: Атомиздат, 1977. — 264 с.
6. Беленков, Е.А. Гибридные наноплазмы и родственные углеродные материалы. Компьютерное моделирование / Е.А. Беленков, В.В. Ивановская, А.Л. Ивановский // Научное издание УрО РАН, 2008. — 165 с.
7. Разрушение. Т. 7 Разрушение неметаллов и композитных материалов. Ч. 1 Неорганические материалы (стекла, горные породы, композиты, керамики, лед) / пер. с англ. / под ред. Ю.Н. Работнова. — М.: МИР, 1976. — 634 с.
8. Гордеева, Т.А. Анализ изломов при оценке надежности материалов / Т.А. Гордеева, И.П. Жегина. — М.: Машиностроение, 1978. — 200 с.
9. Макклиток, Ф. Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклиток, А. Аргон. — М.: Изд. Мир, 1970. — 443 с.
10. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 416 с.
11. Григорянц, А.И., Методы поверхностной лазерной обработки / А.И. Григорянц, А.Н. Сафонов. — М.: Высшая школа, 1987. — 191 с.
12. Черногорова, О.П. Структура и свойства сверхупругих и твердых углеродных частиц, армирующих износостойкие композиционные материалы, полученные из смеси порошков железа и фуллеренов под давлением / О.П. Черногорова, Е.И. Дроздова, В.М. Блинов, Н.А. Бульенков // Российские нанотехнологии. — 2008. — Т. 3. — № 5-6. — С. 150-157.