

УДК 004.353.25-026.66:666.9

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ФРАКЦИЙ ВЛАГОСОДЕРЖАЩЕГО КЕРАМЗИТА НА ЕГО КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.Э. САВАНОВИЧ, Т.В. БОРБОТЬКО, В.Б. СОКОЛОВ, М.В. РУСАКОВИЧ

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

Поступила в редакцию 29 октября 2014.

Приведены результаты исследований коэффициентов отражения и передачи влагосодержащего керамзита с размерами фракций до 4 мм и 10...20 мм в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Ключевые слова: экранирование, электромагнитное излучение, керамзит, размер фракций, коэффициент отражения, коэффициент передачи.

Введение

В настоящее время для обработки информации, в том числе ограниченного распространения, используют средства вычислительной техники. Такие устройства являются источником побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) [1]. Одним из способов защиты информации от утечки по электромагнитным каналам является экранирование, позволяющее снизить уровень ПЭМИ за счет применения радиоэкранирующих материалов. Для экранирования средств вычислительной техники (СВТ) и помещений, где они размещаются, широко используются металлические материалы, характеризующиеся высокой эффективностью, технологичностью и вместе с тем большими стоимостью и массой. Альтернативой металлическим материалам являются композиты, однако их стоимость также значительная, при сравнимой эффективности. Таким образом, широкое использование радиоэкранирующих материалов для решения задач снижения уровня ПЭМИ сдерживается в первую очередь стоимостью таких материалов.

Перспективным направлением в разработке экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) представляется их создание на основе влагосодержащих материалов [2]. Радиоэкранирующие свойства конструкций экранов определяются их влагосодержанием, примесями и их концентрациями в водном растворе, используемом для пропитки, структурой и свойствами матрицы, заполняемой таким раствором. В работах [3–6] были предложены конструкции экранов ЭМИ на основе влагосодержащих капиллярно-пористых (волокнистых, тканых и нетканых, порошкообразных и гранулированных) материалов с различными растворными наполнителями. Известны конструкции влагосодержащих экранов ЭМИ из силикагелевых и бентонитовых материалов, пропитанных различными водными растворами [7]. В объеме каждого влагосодержащего элемента конструкции, независимо от типа используемого материала подложки, находился растворный наполнитель.

Существенными недостатками подобных конструкций являются большой вес, обусловленный в основном высоким влагосодержанием растворного наполнителя до 70 %, а также необходимость стабилизации влагосодержания для сохранения радиоэкранирующих характеристик. Для герметизации конструкций экранов ЭМИ в некоторых случаях применялись полимерные плёнки и связующие вещества, позволяющие значительно снизить испарение влаги [8].

Одним из решений по минимизации массы влагосодержащих конструкций экранов ЭМИ является применение пористых материалов с малым удельным весом, к которым относится керамзит – лёгкий пористый строительный материал, получаемый путем обжига глины. Он характеризуется малой плотностью, относительно малым весом, высокой удельной пористостью, невысокой стоимостью по сравнению с рассмотренными в [3–7] материалами ЭМИ. Ячеистая структура керамзита позволяет инкорпорировать в поры такого материала влагосодержащий наполнитель, и изменять коэффициенты отражения и передачи конструкций экранов ЭМИ, выполненных на его основе, за счет варьирования размеров его фракций, влагосодержания и концентрации растворного наполнителя.

Таким образом, целью данной работы являлось установление закономерностей влияния размеров фракций влагосодержащего керамзита на его коэффициенты отражения и передачи в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Методика эксперимента

Для проведения исследования были изготовлены конструкции экранов ЭМИ, выполненные в виде модулей с плоской формой поверхности, внутренний объем которых заполнялся керамзитом с размерами фракций до 4 мм и 10...20 мм (толщина слоя керамзита в обоих случаях составляла 30 мм). Перед заполнением модулей керамзит пропитывался 10 % водным раствором хлорида натрия (NaCl) при температуре 18...20 °С.

Выбор хлорида натрия обусловлен тем, что его водный раствор является электролитом. Растворимость в воде при 20 °С для NaCl составляет 36,0 г на 100 г воды, диэлектрическая проницаемость 23. Содержание водного раствора NaCl в исследуемых конструкциях экрана ЭМИ оценивалось гравиметрически, относительная погрешность измерений составляла ± 2 %. Влагосодержание керамзита с размерами фракций до 4 мм и 10...20 мм, пропитанного 10 % водным раствором NaCl, варьировалось в пределах 22...23 % и 23...24 % соответственно [9].

Для измерения коэффициентов отражения и передачи исследуемых конструкций экранов ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн, и антенны П6 - 23М. Измерения проводились по методике, приведенной в [10].

Результаты и их обсуждение

На основе анализа полученных результатов установлено, что в диапазоне частот 0,7...17 ГГц для конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе влагосодержащего керамзита, значения коэффициента отражения варьируются в пределах – 0,1...–18 дБ (для размера фракций до 4 мм), в пределах – 0,1...–17 дБ (для размера фракций 10...20 мм) (рис. 1, 2).

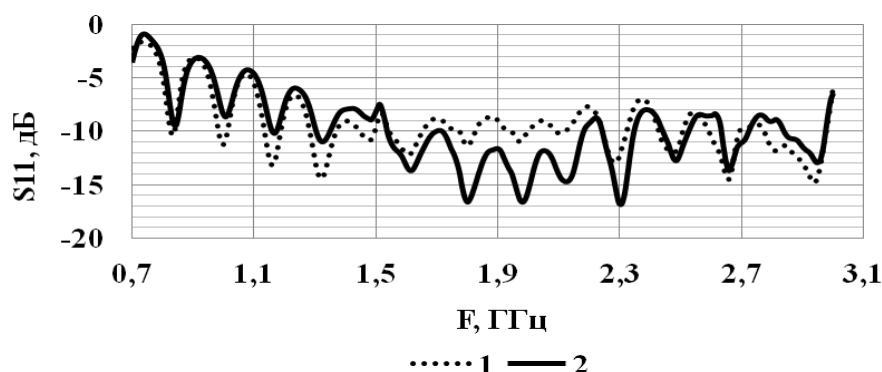


Рис. 1. Частотные зависимости (диапазон частот 0,7 ... 3 ГГц) коэффициента отражения конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе влагосодержащего керамзита, с размерами фракций: 1 – до 4 мм, 2 – 10...20 мм

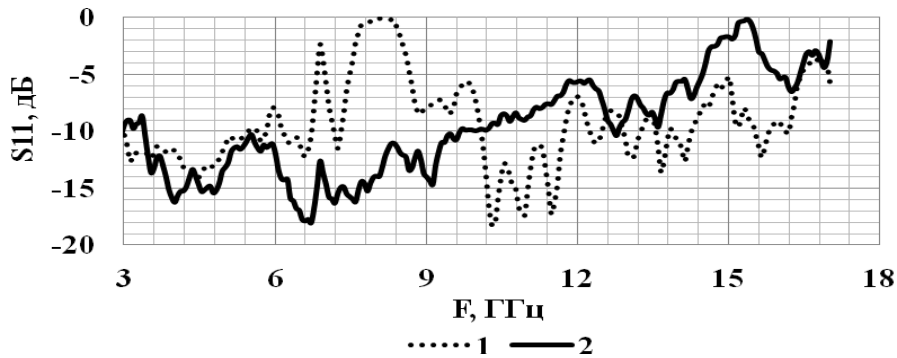


Рис. 2. Частотные зависимости (диапазон частот 3 ... 17 ГГц) коэффициента отражения конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе влагосодержащего керамзита, с размерами фракций: 1 – до 4 мм, 2 – 10 ... 20 мм

Показано, что уменьшение размера фракций влагосодержащего керамзита в конструкциях экранов ЭМИ позволяет снизить значения коэффициента отражения на частотах 0,7...1,5 ГГц, 2,4...3,4 ГГц и 10...17 ГГц до 10 дБ. Увеличение размера фракций влагосодержащего керамзита в исследуемых конструкциях экранов ЭМИ позволяет снизить значения коэффициента отражения на частотах 1,5...2,4 ГГц, 3,4...10 ГГц до 10 дБ.

Показано, что в диапазоне частот 0,7...17 ГГц значения коэффициента передачи для конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе влагосодержащего керамзита варьируются в пределах – 3...–29 дБ (для размера фракций до 4 мм), и в пределах –0,1...–29 дБ (для размера фракций 10...20 мм) (рис. 3, 4).

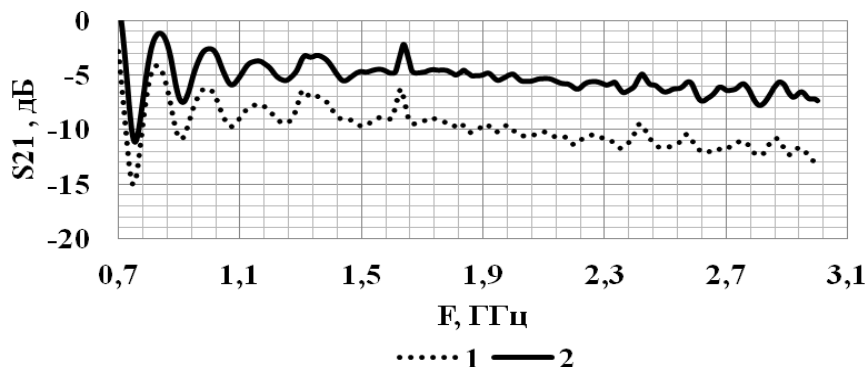


Рис. 3. Частотные зависимости (диапазон частот 0,7 ... 3 ГГц) коэффициента передачи конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе влагосодержащего керамзита, с размерами фракций: 1 – до 4 мм, 2 – 10...20 мм

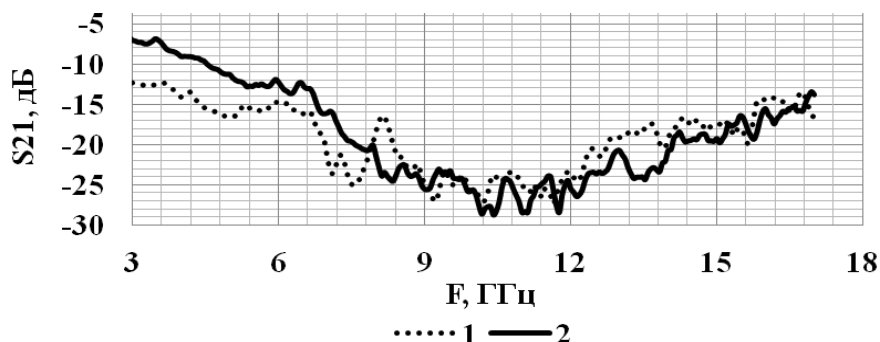


Рис. 4. Частотные зависимости (диапазон частот 3 ... 17 ГГц) коэффициента передачи конструкций экранов ЭМИ, выполненных на основе влагосодержащего керамзита, с размерами фракций: 1 – до 4 мм, 2 – 10...20 мм

Установлено, что уменьшение размера фракций влагосодержащего керамзита в конструкциях экранов ЭМИ позволяет снизить значения коэффициента передачи на частотах 0,7 ... 8 ГГц до 7 дБ. Увеличение размера фракций влагосодержащего керамзита позволяет

снизить значения коэффициента передачи на частотах 8 ... 8,4 ГГц, 10...11 ГГц и 12...15 ГГц до 8 дБ.

При закреплении исследуемых конструкций экранов ЭМИ на металлической подложке, значения коэффициента отражения варьируются в пределах – 0,1...–19 дБ (для размера фракций до 4 мм), и в пределах – 0,1...–23 дБ (для размера фракций 10...20 мм) в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Введение в воду примесей влияет на структуру воды и позволяет изменять ее характеристики: электропроводность, диэлектрическую проницаемость, вязкость. Еще в большей степени структура воды изменяется вблизи твердой пористой поверхности керамзита при образовании связанной воды. Свойства связанной воды, находящейся в пористой структуре керамзита в виде тонких граничных слоев вблизи твердой поверхности, существенно отличаются от свойств свободной воды. Эти отличия объясняются изменениями структуры связанной воды вблизи поверхности, сетки межмолекулярных водородных связей в ее структуре под влиянием поля поверхностных сил [11]. Введение в воду 10 % хлорида натрия повышает проводимость водного раствора, одновременно с этим его динамическая вязкость изменяется от $1,002 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ до $1,19 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ [12].

Инкорпорирование в поры керамзита 10 % водного раствора электролита приводит к уменьшению толщины граничного слоя вблизи твердой поверхности керамзита и, как следствие этому, снижению значений коэффициента отражения и передачи в исследуемом диапазоне частот. Влагосодержащий керамзит размера фракций до 4 мм и 10...20 мм отличается неоднородностью структуры и размерами пор, этим обусловлено отличие его радиоэкранирующих характеристик для исследуемых конструкций экранов ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц.

Заключение

По результатам исследований установлено, что для снижения значения коэффициента отражения электромагнитного излучения предпочтительно использование в конструкциях экранов ЭМИ влагосодержащего керамзита с размером фракций до 4 мм для диапазонов частот 0,7...1,5 ГГц, 2,4...3,4 ГГц и 10...17 ГГц, для диапазонов частот 1,5...2,4 ГГц и 3,4...10 ГГц – влагосодержащего керамзита с размером фракций 10...20 мм.

Для ослабления электромагнитных излучений предпочтительно использование в конструкциях экранов влагосодержащего керамзита с размером фракций до 4 мм в диапазоне частот 0,7...8 ГГц, в диапазоне частот 8...8,4 ГГц и 12...15 ГГц влагосодержащий керамзит с размером фракций 10...20 мм.

Установлено, что конструкции экранов ЭМИ с плоской формой поверхности, выполненные на основе влагосодержащего керамзита, с размером фракций до 4 мм и 10...20 мм, содержащие 10 % водный раствор хлорида натрия, имеют более высокую эффективность экранирования по сравнению с аналогичными по толщине экранами из мелкодисперсных порошковых сорбентов на основе диоксида кремния и углеродосодержащих материалов и экранами с различным рельефом поверхности на основе порошкообразных торфов [13, 14].

Показано, что уменьшение размеров фракций влагосодержащего керамзита в конструкциях экранов ЭМИ позволяет обеспечить более высокую эффективность ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, что показывает перспективность применения влагосодержащего керамзита в конструкциях экранов ЭМИ для решения задач информационной безопасности.

INFLUENCE OF WATER-CONTAINING CLAYDITE FRACTION SIZES ON THE ELECTROMAGNETIC RADIATION REFLECTION AND TRANSMISSION

S.E. SAVANOVICH, T.V. BORBOTKO, V.B. SOKOLOV, M.V. RUSAKOVICH

Abstract

Results of investigations of the reflection coefficients and transmission moisture-expanded clay fractions with dimensions of up to 4 mm and 10 ... 20 mm in the frequency range 0.7 ... 17 GHz.

Список литературы

1. Михалев Л. А., Новичков И. С., Сергеев и др. // Системы безопасности связи и телекоммуникаций. 2001. № 39. С. 50–53.
2. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Борботько Т.В. и др. // Докл. БГУИР. 2004. №3 (7). С. 152–157.
3. Богуш В.А., Зубаревич О.И., Колбун Н.В. и др. // Матер. 15-й междунар. Крымской конференции «СВЧ-техника и коммуникационные технологии». Севастополь. Украина, сентябрь 2005 г. С. 637–639.
4. Колбун Н.В. // Вестн. ПГУ Серия В. Прикладные науки. 2004. № 12. С. 30–35.
5. Казанцева Н.Е., Рывкина Н.Г., Чмутин И.А. // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 2. С. 196–209.
6. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П. и др. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения. Минск, 2000.
7. Занг Фан Ньят Формирование водосодержащих силикагелевых и бентонитовых материалов для высокостабильных экранов электромагнитного излучения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2007.
8. Колбун Н.В. Технология изготовления экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащих капиллярно-пористых материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2005.
9. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. и др. // Матер. II Белор.-росс. науч.-техн. конф. «Технические средства защиты информации». Нарочь, 17–21 мая 2004 г. С. 48–50.
10. Неамах М. Р., Бойправ О.В., Борботько Т.В. и др. Радиоэкранирующие модульные конструкции на основе порошкообразных материалов. Минск, 2013.
11. Королёв В.А. // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 9. С. 79–85.
12. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя. СПб., 2003.
13. Пухир Г.А., Махмуд М.Ш., Лыньков Л.М. // Докл. БГУИР. 2011. № 8 (62). С. 99–102.
14. Лыньков Л.М., Столер Д.В. // Докл. БГУИР. 2013. №7 (77). С. 32–36.