

УДК 621.315.4/61

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ ХРИЗОТИЛОВЫХ АСБЕСТОВ

В.Б. СОКОЛОВ, С.В. ДРОБОТ, С.Э. САВАНОВИЧ

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

Поступила в редакцию 05 декабря 2014

Приводятся результаты исследований характеристик отражения и ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 2...18 ГГц радиопоглощающими композиционными материалами на основе хризотилowych асбестов. Показана целесообразность использования этих материалов для изготовления широкодиапазонных экранов ЭМИ.

Ключевые слова: композиционные экраны, коэффициент отражения электромагнитного излучения, коэффициент передачи электромагнитного излучения, мощность электромагнитного излучения, хризотилowy асбест.

Введение

Активное развитие информационных систем, систем связи и навигации приводит к расширению используемого частотного диапазона. Электромагнитное излучение (ЭМИ), формируемое радиоэлектронными средствами, воздействует как на технические объекты, так и на биологические – прежде всего на человека. Современный этап развития общества характеризуется также существенным возрастанием актуальности проблем обеспечения безопасности во многих сферах жизнедеятельности, в число которых входит как информационная сфера, так и сфера обеспечения выполнения задач вооруженными силами. Поскольку для сбора конфиденциальных сведений, как правило, используются технические средства перехвата, то одним из важных направлений деятельности любого государства является защита информации от утечки по техническим каналам, которые образуются, например, за счет побочных электромагнитных излучений и наводок, создаваемых функционирующими в широком частотном диапазоне средствами обработки данных [1]. Все эти направления деятельности реализуются посредством разработки эффективных, широкодиапазонных, технологичных и удобных в эксплуатации экранов электромагнитных излучений (ЭМИ), использующих в своей конструкции специальные материалы.

В настоящее время существует несколько способов реализации экранов ЭМИ [2]. Первый заключается в создании четвертьволновых конструкций, в которых слой поглощающего материала располагается на расстоянии $\lambda/4$ перед проводящей поверхностью. Принцип работы таких экранов основан на явлении суперпозиции волн. В случае, когда волны, отраженные от поверхностей верхнего слоя и основы находятся в противофазе и одинаковы по амплитуде, происходит их взаимная компенсация. К недостаткам конструкций данного типа относятся узкополосность, ухудшение поглощающих свойств при наклонном падении электромагнитной волны, зависимость от поляризации и необходимость увеличения толщины при уменьшении частоты ЭМИ [1].

Для расширения рабочего диапазона частот используются экраны ЭМИ градиентного типа, характеристики которых (ϵ , μ , $\text{tg } \delta$) увеличиваются по мере проникновения ЭМИ вглубь материала. Недостатками этих конструкций являются сложность изготовления и необходимость

использования радиопоглощающих материалов с толщиной кратной длине волны в свободном пространстве, что становится критичным для задач снижения отражений в области частот ниже 1 ГГц, особенно при ограничении на массогабаритные характеристики экрана.

Наибольшее распространение получили радиопоглощающие экраны многослойной конструкции с различными наполнителями, герметизированными, как правило, разнообразными полимерными материалами. Основой подобных конструкций в большинстве случаев являются машиновязанные полотна из синтетических и натуральных волокон [2]. При этом основной проблемой является надежная фиксация входящих в композицию активных составляющих на несущей матрице, а также удержание влаги, заполняющей свободные промежутки волокнистой фибрильной матрицы полотна [2]. Использование конструкций экранов ЭМИ на практике связано с проблемой огнестойкости материалов, из которых они выполняются. Решение данной проблемы возможно при использовании в качестве материала матрицы волокнистого наноканального минерала водного силиката магния $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ – хризотилового асбеста. Химический состав хризотил-асбеста: окись магния (MgO) 38–41 %, окись алюминия (Al_2O_3) 1–1,5 %, окись и закись железа (FeO , Fe_2O_3) 0,3–4%, двуокись кремния (SiO_2) 41–43 %, вода (H_2O) 13–14 %. Средние значения модуля упругости хризотил-асбеста колеблются от 16104 до 21104 МПа. Хризотильный асбест имеет нестандартную кристаллическую структуру, состоящую из слоев, ограниченных с внутренней стороны кремнекислородной сеткой, а с внешней стороны – сеткой гидроокиси магния. В силу различия размеров внутренней и внешней сеток, слои хризотилового асбеста свертываются в цилиндрические трубки с кремнекислородным слоем на внутренней стороне, благодаря чему волокна прекрасно удерживают влагу. Удаление структурно-связанной (кристаллизационной воды) возможно при 350–450 °С. Кроме того, большая удельная поверхность хризотилового асбеста будет способствовать размещению большего количества частиц в объеме материала.

Наиболее простой способ изготовления экранов ЭМИ заключается во введении в материал электропроводящего компонента – порошкообразного металла. Для введения и фиксации частиц металла на поверхности волокон хризотилового асбеста был выбран метод холодного газодинамического напыления (ХГДН). Метод разработан на основе открытого в 80-х гг. прошлого столетия эффекта закрепления твердых частиц, движущихся со сверхзвуковой скоростью, на поверхности при соударении с ней. Технология нанесения покрытий включает в себя нагрев сжатого газа (воздуха), подачу его в сопло и формирование в этом сопле сверхзвукового воздушного потока, подачу в этот поток порошкового материала, ускорение этого материала в сопле сверхзвуковым потоком воздуха и направление его на поверхность обрабатываемого изделия. В качестве порошковых материалов используются порошки металлов, сплавов или их механические смеси с керамическими порошками. При этом путем изменения режимов работы оборудования можно либо проводить эрозионную обработку поверхности изделия, либо наносить металлические покрытия требуемых составов. Изменением режимов можно также менять пористость и толщину напыляемого покрытия. В качестве напыляемых материалов использовались металлы (никель, медь) в порошкообразном виде [3].

Методика проведения эксперимента

Для проведения исследований использовались образцы, изготовленные методом ХГДН порошков никеля и меди на поверхность хризотилового асбеста. Предварительно сформированную газопорошковую смесь с частицами размером 0,01–50 мкм (истекающую из дозатора) ускоряли в сверхзвуковом холодном или подогретом потоке воздуха или иного газа (гелий, азот), с температурой существенно меньшей температуры плавления материала частиц ($T_0 = 0,4–0,7T_{pm}$) и направляли на напыляемую поверхность. В результате ударного взаимодействия частиц металлов с преградой на последней сформировалось покрытие из пластически деформированных частиц напыляемого порошка. Холодное газодинамическое металлов выполняли на установке «ДИМЕТ–405». Основные технические характеристики установки (оборудование сертифицировано по системе ГОСТ Р. Сертификат соответствия N РОСС RU.ТН02.Н00580):

- типы покрытия: алюминиевые, медные, цинковые, никелевые, баббитовые;
- энергопотребление: 220 В 3,3 кВт;

- давление потребляемого воздуха: 0,6–1,0 МПа (6–10 атм);
- расход сжатого воздуха: 0,4 м³/мин;
- производительность по массе наносимого покрытия: 1–6 г/мин (0,3–3 см³/мин);
- 5 температурных режимов.

Исследовались текстильные асботкани толщиной 2,5–5,0 мм, изготовленные из волокон хризотилового асбеста 0 группы ГОСТ 12871-93. Исследуемый материал представляет собой волокнистую структуру из плотно упакованных трубчатых волокон с внешним диаметром 300–500 А и внутренним диаметром 20–150 А. Пористость материала (объем каналов к общему объему) составляет 5–6 %.

Для исследования экранирующих характеристик созданных экранов ЭМИ использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отражающей волн. С помощью данного измерителя могут проводиться однократные, непрерывные, *N*-шаговые измерения, а также измерения с усреднением результата (от 2 до 32 раз). В данной работе проводились измерения с усреднением результата (число усреднений – 3).

Измерения включали в себя три этапа. На первом этапе осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя. В данной модификации измерителя калибровка выполнялась автоматически. Второй этап заключался в измерении коэффициентов передачи и влиянии состава напыляемого материала на коэффициент передачи S_{21} композитных конструкций экранов. Третий этап заключался в измерении коэффициентов отражения и исследовании влияния состава напыляемого материала на коэффициент отражения S_{11} композитных конструкций экранов.

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.

Результаты и их обсуждение

Частотные зависимости коэффициентов отражения (S_{11}) и передачи ЭМИ (S_{21}) для подготовленных образцов приведены на соответствующих рисунках. На основе анализа результатов измерений показано, что листовый хризотилковый асбест характеризуется ослаблением не более 1 дБ (рис. 1) в диапазоне частот 2...18 ГГц. Использование такого материала в четвертьволновых конструкциях экранов, приводит к значительному увеличению коэффициента ослабления до 40 дБ в исследуемом диапазоне длин волн (рис. 2).

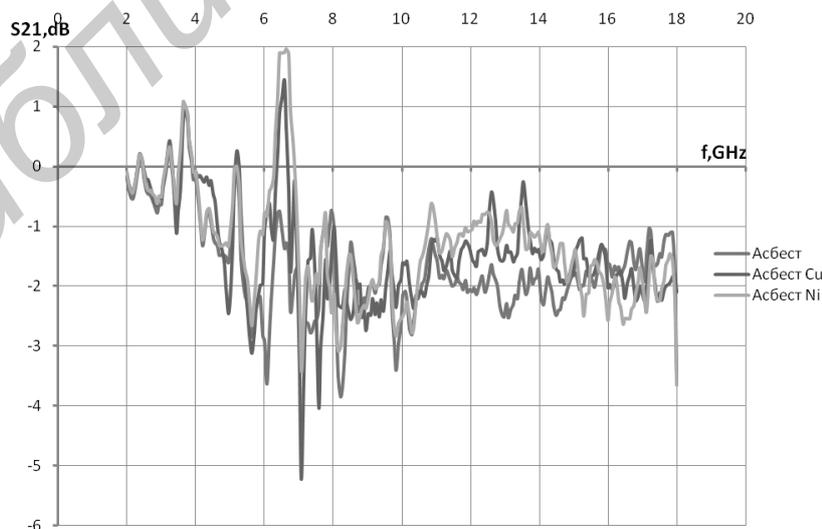


Рис. 1. Зависимость коэффициента ослабления (передачи) электромагнитных экранов из листового хризотилового асбеста и из листового хризотилового асбеста с напылением меди или никеля

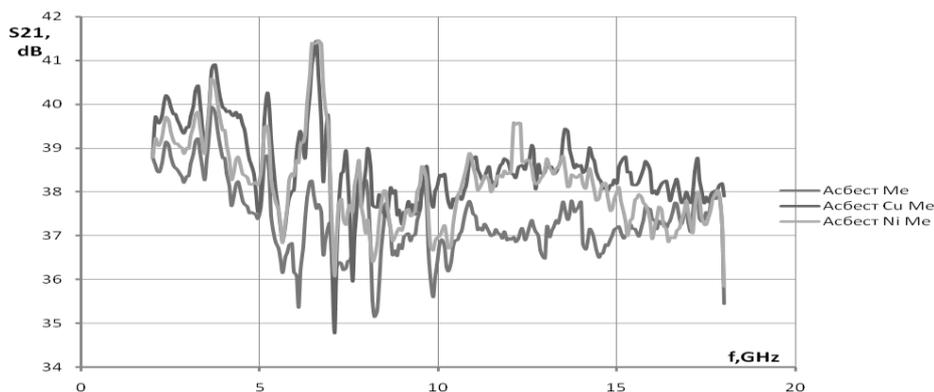


Рис. 2. Зависимость коэффициента ослабления (передачи) электромагнитных экранов из листового хризотилового асбеста и из листового хризотилового асбеста с напылением меди или никеля с металлической подложкой (четвертьволновая конструкция экрана)

При проведении исследования экранирующих характеристик синтезированных материалов установлено, что напыление на листовую хризотилловый асбест меди или никеля незначительно изменяет коэффициент ослабления материала в диапазоне частот 2...18 ГГц. Листовой хризотилловый асбест с напыленным на него порошком меди характеризуется ослаблением не более 2 дБ (рис. 1) в диапазоне частот 2...18 ГГц. При посадке на поверхность асбеста порошкообразного никеля, коэффициент ослабления находится в диапазоне от -4 до 2 дБ (рис. 1), как и в случае использования меди, а применение полученного материала в многослойных конструкциях экранов ЭМИ, где в качестве второго слоя используется металлический отражатель, позволяет получить коэффициент ослабления до 42 дБ в диапазоне частот 2...18 ГГц (рис. 2).

Установлено, что напыление на поверхность асбеста меди позволяет снизить коэффициент отражения асбеста до -19 дБ (рис. 3) при ослаблении не более 4 дБ (рис. 1), а использование синтезированного материала в четвертьволновой конструкции экрана ЭМИ – до -10 дБ (рис. 3) при ослаблении до 41 дБ (рис. 2) в диапазоне частот 2...18 ГГц. При напылении на поверхность асбеста порошкообразного никеля, коэффициент отражения материала снижается до -19 дБ (рис. 4) при ослаблении не более 4 дБ (рис. 1), как и в случае напыления меди, а применение полученного материала в многослойных конструкциях экранов ЭМИ, где в качестве второго слоя используется металлический отражатель – до -7 дБ, при ослаблении до 41 дБ в диапазоне частот 2...18 ГГц. Установлено, что напыление никеля на поверхность листового асбеста обеспечивает снижение коэффициента отражения исходного материала на частотах менее 6 ГГц, чего не наблюдается у медьсодержащего асбеста. А на частотах 10...12 ГГц медьсодержащий материал обеспечивает большее снижение коэффициента отражения (от -16 до -12 дБ), чем никельсодержащий асбест (от -12 до -9 дБ) (см. рис. 5).

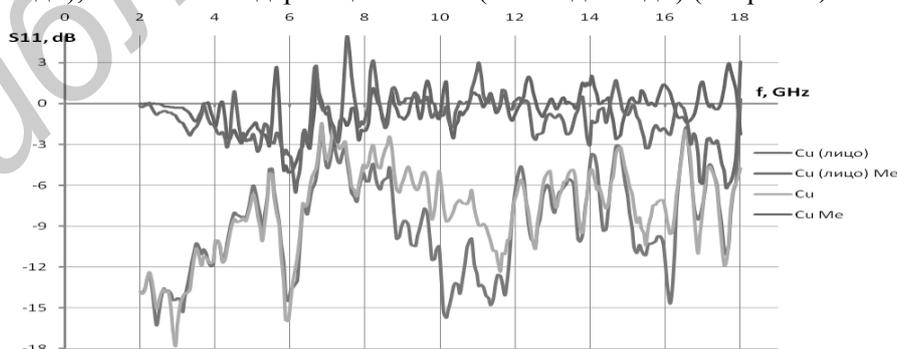


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения электромагнитных экранов из листового хризотилового асбеста с напылением меди

Метод холодного газодинамического напыления металлов позволяет получать многослойные радиопоглощающие покрытия, которые могут наноситься практически на любые поверхности, в том числе на внутреннюю часть корпусов экранируемых средств.

Показано, что многослойные конструкции экранов (структуры медь-никель или никель-медь, напыляемых послойно) обеспечивают ослабление электромагнитного излучения до 30 дБ в диапазоне частот 2...18 ГГц при коэффициенте отражения $-4...-10$ дБ.

Количество и чередование напыляемых слоев позволяют получать заданные значения коэффициентов отражения. Таким образом, при использовании данного метода формируется радиопоглощающее покрытие с требуемыми экранирующими свойствами для снижения уровней побочных электромагнитных излучений и наводок средств вычислительной техники.

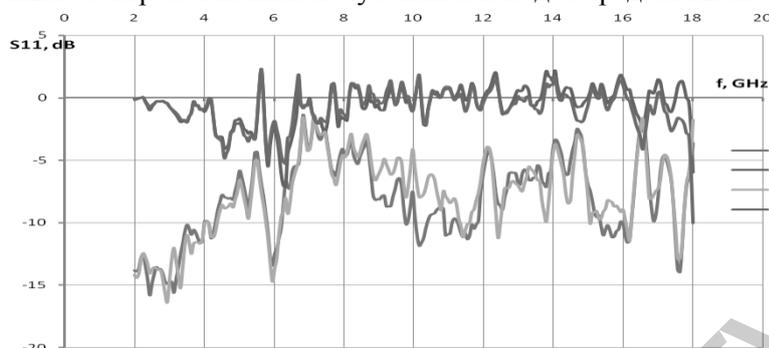


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения электромагнитных экранов из листового хризотилового асбеста с напылением никеля

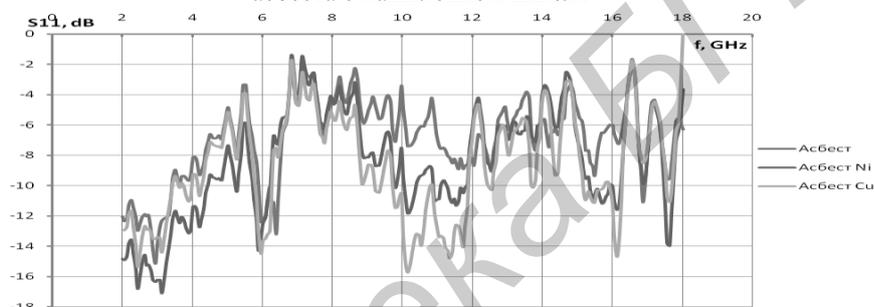


Рис.5. Зависимость коэффициента отражения электромагнитных экранов из листового хризотилового асбеста с напылением меди или никеля

Разница в радиопоглощающих характеристиках химически модифицированного минерала обусловлена выбором осаждаемого металла: вместе с ростом электропроводности, увеличиваются значения ослабления и коэффициента отражения. Этот фактор может быть использован для создания композиционных поглотителей ЭМИ с заданными функциональными характеристиками путем подбора вида металлических включений, их концентрации и очередности.

STUDY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION INTERACTION WITH MATERIALS BASED ON CHRYSOTILE ASBESTOS

V.B. SOKOLOV, S.V. DROBOT, S.E. SAVANOVICH

Abstract

The research results of radioabsorbing composite materials based on chrysotile asbestos electromagnetic radiation reflection and attenuation characteristics in the frequency range 2...18 GHz are studied. The expediency of use of these materials for manufacturing of wide screens EME is shown.

Список литературы

1. Лыньков Л.М., Чембрович В.Е., Борботько Т.В. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 2/1. С. 29–35.
2. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. / Под общ. ред. Л.М. Лынькова. Минск, 2003.
3. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика / Под ред. В.М. Фомина. М., 2010.