

**Д.И. Пеньялоса Овальес, О.В. Бойправ, М.В. Тумилович,  
А.В. Гусинский, Г.С. Паскробка, Л.М. Лыньков**

## **НЕГОРЮЧЕЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **Аннотация**

Получено негорючее композиционное покрытие, наполнителем которого является глинозем, а связующим веществом – вододисперсионный состав. Экспериментально установлено, что такое покрытие, будучи нанесенным на поверхность целлюлозной пластины слоем толщиной  $(3 \pm 1)$  мм, характеризуется значениями коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц, изменяющимися соответственно в пределах от –1,0 до –35,0 дБ и от –0,5 до –5,0 дБ. Экспериментально обосновано, что в случае, если такое покрытие является поверхностным слоем конструкции электромагнитного экрана в виде целлюлозной пластины, на обратной стороне которой (относительно фронта распространения электромагнитного излучения) зафиксирована металлизированная лавсановая пленка, то значение коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц такой конструкции изменяется в пределах от –1,0 до –33,0 дБ при величинах ее коэффициента передачи электромагнитного излучения от –20,0 до –40,0 дБ. На основе результатов проведенных экспериментов установлено, что полученное композиционное покрытие представляет перспективным для получения радиопоглощающих конструкций, предназначенных для облицовки стен помещений, в которых располагаются радиоэлектронные приборы, в целях защиты последних от воздействия внутренних и внешних сверхвысокочастотных электромагнитных помех.

**Ключевые слова:** глинозем, композиционное покрытие, коэффициент отражения электромагнитного излучения, негорючесть.

### **Введение**

В работе [1] установлена целесообразность использования композиционного покрытия, содержащего порошкообразный электрокорунд, в качестве поверхностного слоя электромагнитных экранов на основе проводящих материалов (металлы, углеродные волокна и порошки и т. п.), так как в результате этого можно снизить на 2...10 дБ величину коэффициента отражения электромагнитного излучения (ЭМИ) в СВЧ-диапазоне таких экранов при неизменности величины коэффициента передачи, а также обеспечить для них свойство негорючести. Достижение указанных особенностей для электромагнитных экранов на основе проводящих материалов связано тем, что в состав порошкообразного корунда входит 93...96 % об. оксида алюминия, что обуславливает его диэлектрические свойства, а

также тем, что порошкообразный электрокорунд является природным антипереном.

В рассматриваемой работе в развитие исследований, результаты которых приведены в [1], было получено негорючее композиционное покрытие на основе глинозема и исследованы его характеристики отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц в целях экспериментального обоснования возможности применения такого покрытия в качестве поверхностного слоя электромагнитных экранов на основе проводящих материалов как альтернативы покрытию на основе порошкообразного электрокорунда. Проведение такого исследования представляет интерес в связи с тем, что состав глинозема аналогичен составу электрокорунда, однако по сравнению с ним имеет более низкую стоимость и более широко распространен, так как является природным минералом (составная часть глин) [2].

## Методика проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с методикой, представленной в работе [1]. Установлено оптимальное объемное соотношение глинозема (наполнителя) и водоземulsionного состава (связующего вещества) для получения композиционного покрытия, составляющее 4 : 6. Композиционное покрытие получали путем механического смешивания в установленном оптимальном объемном соотношении глинозема и водоземulsionного состава.

С использованием полученного композиционного покрытия были изготовлены экспериментальные образцы двух видов. Образцы вида 1 представляли собой двухслойные конструкции –

целлюлозные пластины толщиной  $(2 \pm 1)$  мм, на поверхность которых слоем толщиной  $(3 \pm 1)$  мм нанесено полученное композиционное покрытие. Образцы вида 2 представляли собой трехслойные конструкции – целлюлозные пластины толщиной  $(2 \pm 1)$  мм, на одну из сторон которых слоем толщиной  $(3 \pm 1)$  мм нанесено полученное композиционное покрытие, а на другой из сторон зафиксирована металлизированная полимерная пленка толщиной 20 мкм. Величины толщины целлюлозных пластин и толщины слоя нанесенного композиционного покрытия определялись при помощи микрометра типа МК-25, изготовленного согласно ГОСТ 6507-90.

В соответствии с методиками, приведенными в [3], [4], на изготовленных образцах были прове-

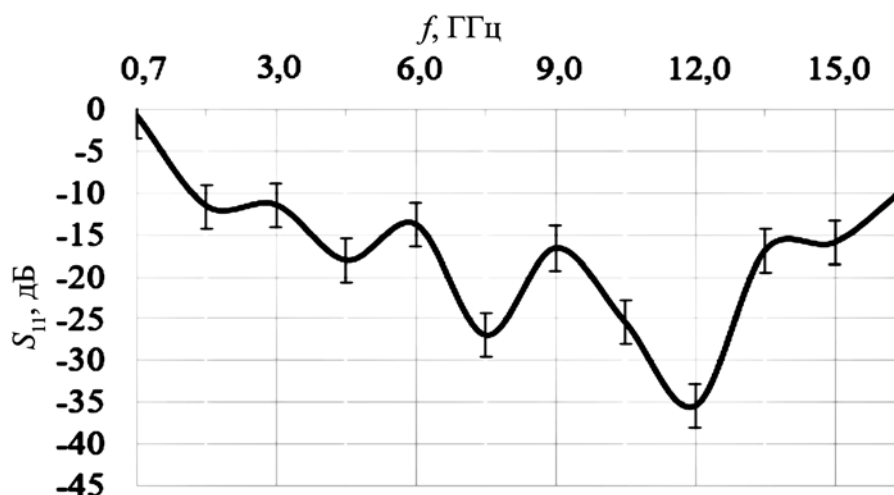


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 1

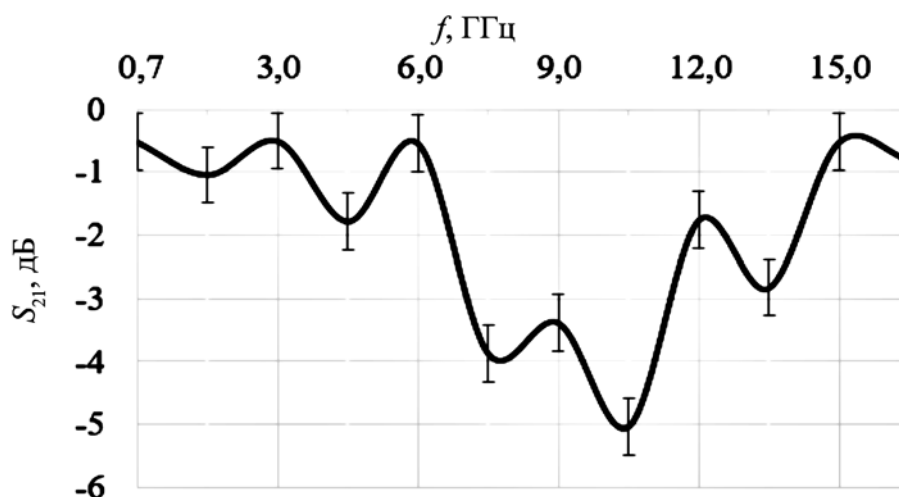


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 1

дены эксперименты по оценке полученного композиционного покрытия на воспламеняемость и горючесть.

В соответствии с методикой [5] с использованием векторного анализатора цепей были выполнены измерения значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц изготовленных экспериментальных образцов.

### Результаты и их обсуждение

По результатам проведенной оценки полученного композиционного покрытия на воспламеняемость и горючесть было установлено, что оно является негорючим, что обусловлено свойством тугоплавкости глинозема [6].

На *рис. 1, 2* представлены частотные зависимости коэффициентов отражения ( $S_{11}$ ) и передачи ( $S_{21}$ ) ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц изготовленных экспериментальных образцов вида 1.

Из *рис. 1 и 2* следует, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 1 изменяются соответственно в пределах от  $-1,0$  до  $-35,0$  дБ и от  $-0,5$  до  $-5,0$  дБ, на основании чего можно сделать заключение, что полученное композиционное покрытие обеспечивает ослабление в 1,1...3,2 раза мощности ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц при условии, что его толщина составляет  $(3 \pm 1)$  мм. Высокое значение коэффициента передачи и низкое значение коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида

1 связано с отсутствием в составе этих образцов компонентов, характеризующихся свойством электрической проводимости.

На *рис. 3* представлена частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц изготовленных экспериментальных образцов вида 2. Из представленной зависимости следует, что значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 2 изменяются в пределах от  $-1,0$  до  $-33,0$  дБ. Величины рассматриваемого параметра в диапазоне частот 1,0...17,0 ГГц достигают значения  $-10,0$  дБ и менее. Анализируемая зависимость может быть условно разделена на три резонансных кривых, каждая из которых является несимметричной относительно условной линии, проходящей параллельно оси ординат через точку, обозначающую на оси абсцисс значение ее резонансной частоты. Первая из таких кривых характеризуется диапазоном частот 0,7...3,0 ГГц и значением резонансной частоты 2,0 ГГц, вторая – диапазоном частот 3,0...7,0 ГГц и значением резонансной частоты 6,0 ГГц, третья – диапазоном частот 7,0...13,0 ГГц и значением резонансной частоты 11,5 ГГц. Значения коэффициента отражения ЭМИ, соответствующее резонансным частотам указанных кривых, соответственно составляют  $-11,0$ ,  $-33,0$  и  $-18,0$  дБ, на основании чего можно сделать заключение, что наибольшая разность фаз электромагнитных волн, падающих на поверхность рассматриваемых экспериментальных образцов, и волн, отражаемых их поверхностью и поверхностью входящей в их состав металлизации

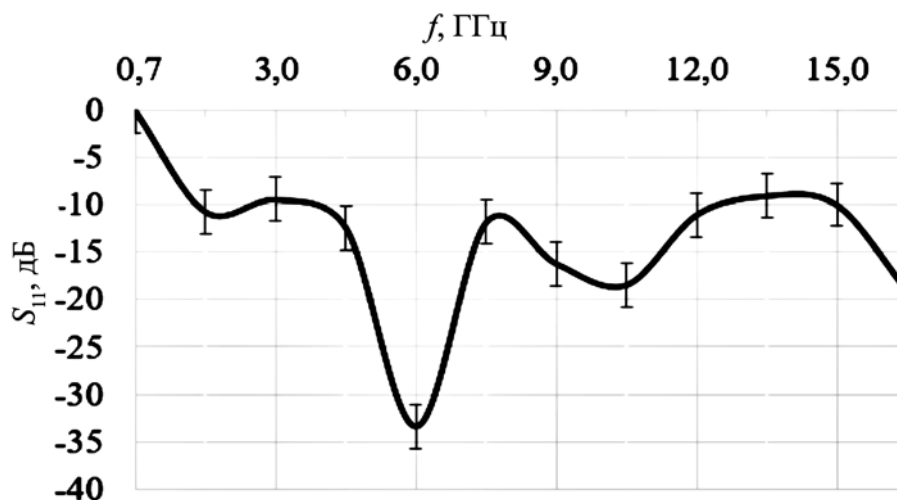


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 2

рованной лавсановой пленки, наблюдается в том случае, если значение частоты этих волн лежит в пределах от 6,0 до 7,5 ГГц. Указать более точное значение частоты не представилось возможным, так как измерения значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2,0...17,0 ГГц проводились с шагом 1,5 ГГц.

На рис. 4 представлена частотная зависимость коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 2. Из представленной зависимости следует, что значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 2 изменяются в пределах от –20,0 до –40,0 дБ. Низкие значения коэффициента передачи ЭМИ экспериментальных образцов вида 2 обеспечиваются за счет наличия в их составе металлизированной лавсановой пленки, которая характеризуется свойством электрической проводимости. Таким образом, экспериментальные образцы вида 2 являются радиопоглощающими конструкциями.

### Заключение

На основе результатов сравнительного анализа частотных зависимостей коэффициентов отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц исследованных в настоящей работе экспериментальных образцов вида 2, в структуру которых в качестве поверхностного слоя (относительно фронта распространения ЭМИ) входит композиционное покрытие на основе глинозема и водоземulsionного состава, и исследованных в работе [1] образцов, в структуру которых в качестве

поверхностного слоя входит композиционное покрытие на основе порошкообразного электрокорунда и водоземulsionного состава, можно сделать вывод о том, что первое из указанных покрытий по сравнению со вторым в большей степени обеспечивает снижение значений коэффициента отражения ЭМИ электромагнитных экранов на основе проводящих материалов, так как величина такого снижения может достигать 30 дБ.

Так как значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 1,0...17,0 дБ исследованных экспериментальных образцов вида 2 составляют менее –10,0 дБ при значениях коэффициента передачи ЭМИ от –20,0 до –40,0 дБ, то можно сделать вывод о том, что полученное в рамках настоящей работы композиционное покрытие на основе глинозема и водоземulsionного состава представляется перспективным для изготовления радиопоглощающих конструкций в качестве поверхностного слоя последних. Ввиду того, что данное покрытие является негорючим, радиопоглощающие конструкции с поверхностным слоем на его основе могут применяться для облицовки стен помещений, в которых располагаются радиоэлектронные приборы. Такие конструкции будут обеспечивать защиту последних от внешних и внутренних (переотражаемых) электромагнитных помех. Следует отметить, что один из вариантов состава радиопоглощающих конструкций, перспективных для использования в целях облицовки стен указанных помещений, соответствует составу исследованных в настоящей работе экспериментальных образцов вида 2.

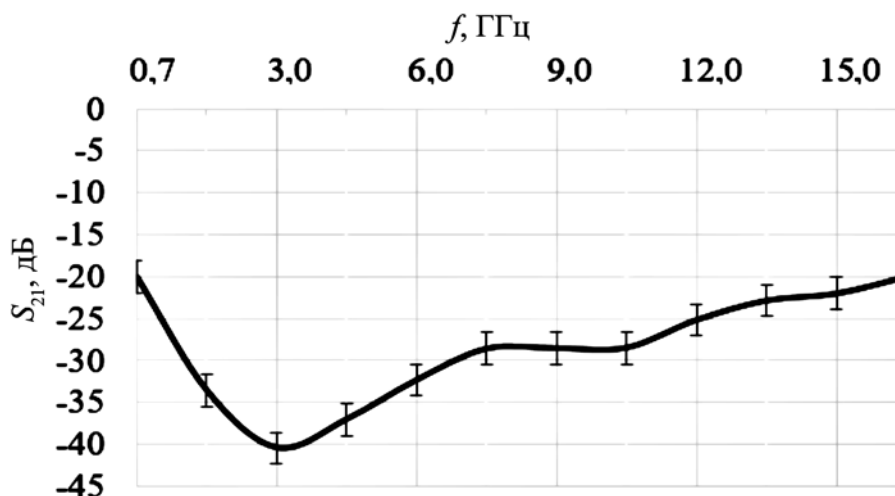


Рис. 4. Частотная зависимость коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17,0 ГГц экспериментальных образцов вида 2

Список литературы:

1. Пеньялоса Овальес Д.И., Лыньков Л.М., Бойправ О.В., Тумилович М.В. Негорючее композиционное покрытие на основе порошкового электрокорунда для электромагнитных экранов // Приборы. 2018. № 6 (216). С. 49-54.
2. Троицкий И.А., Железнов В.А. Металлургия алюминия. – М.: Металлургия, 1977. 392 с.
3. ГОСТ 30402–96 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.
4. ГОСТ 30244–94 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.
5. ГОСТ 20271.3–91 Изделия электронные СВЧ. Методы измерения параметров модулирующего импульса.
6. Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Дятлова Е.М. Огнеупорные и тугоплавкие керамические материалы. – Минск : Беларус. навука, 2013. 385 с.

*Пеньялоса Овальес Дейвис Исаиас,*  
*стажер,*  
*Ольга Владимировна Бойправ,*  
*канд. техн. наук, доцент,*  
*кафедра защиты информации,*

*Мирослав Викторович Тумилович,*  
*д-р техн. наук, доцент, начальник,*  
*управление подготовки научных*  
*кадров высшей квалификации,*  
*Александр Владимирович Гусинский,*  
*канд. техн. наук, доцент, начальник,*  
*Георгий Сергеевич Паскробка,*  
*мл. научный сотрудник,*  
*Центр 1.9 «Научно-образовательный*  
*инновационный центр СВЧ» научно-*  
*исследовательской части информации,*  
*Леонид Михайлович Лыньков,*  
*д-р техн. наук, профессор,*  
*научный руководитель,*  
*научно-исследовательская лаборатория*  
*«Материалы и элементы электронной*  
*и сверхпроводниковой техники»*  
*научно-исследовательской части,*  
*УО «Белорусский государственный университет*  
*информатики и радиоэлектроники»,*  
*г. Минск, Республика Беларусь,*  
*e-mail: boiprav@tut.by*

### Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Приборы» предлагает Вам опубликовать материалы о Вашей организации в разделе «Портрет предприятия».

Данный раздел включает в себя «визитную карточку» – справку об организации – и далее:

- **для разработчиков приборов и средств автоматизации:**

- ☞ основные виды деятельности, подробный перечень (каталог) Вашей продукции с техническими характеристиками, схемами и фотографиями;

- **для фирм-разработчиков АСУ:**

- ☞ конкретные разработки аппаратных средств, программного обеспечения и их использование;

- ☞ работы, связанные с внедрением АСУ, типы внедряемых систем;

- ☞ вопросы обеспечения проектирования с описанием конкретных проектов;

- ☞ опыт эксплуатации систем;

- ☞ другие виды деятельности (монтажно-наладочные работы, обеспечение коммуникациями, дистрибуция).

Материал может быть напечатан в нескольких номерах журнала с продолжением. Максимальный объем публикации в одном номере — 20 страниц.

Мы приглашаем Вас также присылать отдельные статьи о конкретных разработках в другие разделы нашего журнала: «Приборы и средства автоматизации», «Системы автоматизации», «Теория и конструирование», «Технология, оборудование и новые материалы».

Срок публикации статей — от одного до трех месяцев. Публикация статей осуществляется бесплатно.

Все материалы могут сопровождаться цветной рекламой как внутри журнального текста, так и на любой из сторон обложки, кроме первой.