

УДК 537.87:620.22:621.396.6

DOI 10.52928/2070-1616-2023-47-1-125-131

**ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ УГЛЕСОДЕРЖАЩИЕ ПОГЛОТИТЕЛИ
 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
 РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

*канд. техн. наук, доц. Е.С. БЕЛОУСОВА, канд. техн. наук, доц. О.В. БОЙПРАВ,
 С.Э. САВАНОВИЧ, Д.В. БОРДИЛОВСКАЯ*

(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

Представлены результаты исследований процесса создания полимерных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения путем добавления в состав полиуретановой мастики порошкообразного угля (кокосового активированного, древесного активированного и неактивированного) для уменьшения коэффициента отражения электромагнитного излучения с целью обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных приборов. Разработана методика изготовления углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения, по которой получены одно-, двух- и трехслойные образцы углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения. Изучена структура частиц угля и механизм их распределения в полиуретановой мастике. На основе анализа частотных характеристик коэффициентов отражения и передачи в диапазоне частот 3–17 ГГц определены состав и расположение слоев для получения оптимального уровня экранирования радиоэлектронных приборов от электромагнитных помех и обеспечения электромагнитной совместимости.

***Ключевые слова:** коэффициент отражения, коэффициент передачи, поглотитель электромагнитного излучения, экранирование, электромагнитная совместимость, уголь.*

Введение. Электромагнитная совместимость является одной из важнейших задач при обеспечении функциональной безопасности радиоэлектронных приборов различного назначения: военного, промышленного, медицинского, научного и др. В соответствии с терминологией, утвержденной стандартом¹, под электромагнитной совместимостью (ЭМС) понимается способность оборудования или системы удовлетворительно функционировать в электромагнитной обстановке, не создавая недопустимых электромагнитных помех другому оборудованию или другим системам в этой обстановке. В Национальном стандарте² для некоторых групп устройств, испытываемых в лабораторных условиях, в полосе частот от 1 до 18 ГГц нормы излучаемых электромагнитных помех не установлены, но при этом упоминается, что для промышленных, научных, медицинских устройств пиковое значение радиопомех равно 60 дБ в диапазоне частот 1–18 ГГц на расстоянии 3 м.

Задача электромагнитной совместимости решается несколькими способами. Так, например, в работе³ рассматривается обеспечение функциональной безопасности радиоэлектронных средств космических систем, в частности, космических аппаратов, при воздействии мощных электромагнитных импульсов естественного и техногенного происхождения. Авторы подчеркивают, что поскольку существуют высокочастотные КМОП микросхемы, работающие на частотах до 10 ГГц, то экранирование важно ввиду их установки в различной аппаратуре в непосредственной близости от различного оборудования.

Согласно [1], фиксированная спутниковая служба (ФСС) использует для передачи сигналов в диапазоне от 2,5 до 275 ГГц полосы частот около 4, 6, 7, 8, 11 и 14 ГГц. Однако ввиду интенсивного развития систем ФСС обостряется проблема ЭМС сетей, использующих геостационарные спутники. Подвижная спутниковая служба использует полосы частот около 7 и 8 ГГц в ряде случаев в общих сетях с системами ФСС, что также актуализирует проблему их ЭМС. Для радиовещательной службы выделены полосы 620–790 МГц, 2,5–2,7 ГГц, 11–12,7 ГГц, 22,5–23 ГГц, 40,5–42,5 ГГц, 84–86 ГГц.

В [2] для обеспечения электромагнитной совместимости рекомендуется использовать помехоподавляющие фильтры, защитные элементы для ограничения перенапряжений и экраны электромагнитного излучения. В качестве экранирующих материалов – стальные и медные листы, фольгу из мягкомагнитных сплавов с высокой магнитной проницаемостью, металлические сетки, полимерные комбинированные материалы с проводящими добавками. Однако металлосодержащие экранирующие элементы способны отражать электромагнитное

¹ ГОСТ ИЕС/TS 61000-1-2-2015 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 1-2. Общие положения. Методология достижения функциональной безопасности электрических и электронных систем, включая оборудование, в отношении электромагнитных помех. – М.: Юриспруденция, 2020. – 77 с.

² СТБ 55011-2012 Электромагнитная совместимость. Радиопомехи от промышленных, научных и медицинских (ПНМ) высокочастотных устройств. Нормы и методы измерений = Электромагнитная сумяшчальнасць. Радыёперашкоды ад прамысловых, навуковых і медыцынскіх (Пнм) высокачастотных устройстваў. Нормы і метады вымярэнняў. – Минск: Госстандарт, 2020. – 50 с.

³ Исследование и разработка методов обеспечения функциональной безопасности и электромагнитной совместимости космических систем: отчет о НИР (заключ.) / Высш. шк. экономики; рук. темы Е.Д. Пожидаев. – М., 2012. – 245 с. – № ГР 01201256073. URL: <https://www.hse.ru/data/2013/03/10/1293637463/Rep%20TZ-109.pdf>

излучение, в то время как полимерные комбинированные материалы с проводящими добавками обладают свойством его поглощения за счет многократного переотражения и затухания электромагнитной волны от проводящих компонентов в структуре материала.

Кроме того, на эффективность поглощения электромагнитного излучения оказывают существенное влияние частота поля, электропроводность и магнитная проницаемость материала экрана, конфигурация и его размеры [2].

Известно, что экранирование обусловлено поглощением электромагнитной энергии материалом экрана (коэффициент передачи, S_{21}) и отражением падающей волны (коэффициент отражения, S_{11}) от поверхности материала экрана, т.е. результирующий коэффициент экранирования (S) состоит из суммы коэффициентов S_{21} и S_{11} . Эффективность экранирующих устройств ориентировочно может быть оценена следующим образом:

- недостаточное ($S \leq 10$ дБ);
- минимальное ($10 < S \leq 30$ дБ);
- достаточное ($30 < S \leq 60$ дБ);
- оптимальное ($60 < S \leq 90$ дБ);
- предельно хорошее экранирование ($90 < S \leq 120$ дБ) [2].

Максимального значения коэффициента передачи можно достигнуть, используя металлосодержащие компоненты, при этом коэффициент отражения зависит от структуры материала, его электропроводности и магнитной проницаемости. При этом необходимо помнить, что металлосодержащие материалы обладают свойством отражения электромагнитной волны.

В связи с этим задача поиска материалов для поглощения электромагнитного излучения и минимизации коэффициента отражения для последующего нанесения таких материалов на металлический корпус радиоэлектронных приборов достаточно актуальна.

В данной статье представлены результаты исследования процесса создания полимерных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения путем добавления в состав полиуретановой мастики порошкообразного угля для уменьшения коэффициента отражения электромагнитного излучения и обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных приборов.

Основная часть. В качестве связующего материала для изготовления полимерного углесодержащего поглотителя электромагнитного излучения была выбрана мастика строительная, представляющая собой жидкую однородную форму, которая при нанесении на поверхность полимеризуется и образует монолитное покрытие. Мастика чаще всего используется для гидроизоляции и защиты от негативного воздействия окружающей среды строительных конструкций (бетонных сооружений, труб, ванных комнат, санузлов и др.). В зависимости от состава мастики строительные подразделяются на битумную (резиновую, скипидарную, синтетическую, латексную), казеиновую, полиуретановую и др. При сравнительном анализе физико-химических свойств⁴ двух самых распространенных видов мастик (таблица 1) было установлено, что полиуретановая мастика сохраняет свои свойства в пределах от -60 до $+70$ °С, в то время как другие виды мастик могут растрескаться. Также полиуретановая мастика характеризуется хорошей адгезией к любым поверхностям, большим сроком эксплуатации, устойчивостью к истиранию и ультрафиолетовому излучению.

Таблица 1. – Сравнительная характеристика полиуретановой и битумной мастики

Показатель	Полиуретановая мастика	Битумная мастика
Состав	Химические полиуретановые смолы с полимеризованным битумом	Битум, латекс, минеральные наполнители, эластомерные и синтетические смолы
Срок эксплуатации	До 15 лет	Не более 2 лет
Усадка при высыхании	нет	есть
Относительное удлинение, %, не менее	600	100
Водопоглощение за 24 ч, %, не более	2	0,5–1
Прочность сцепления с основанием, МПа	2	0,1

Выделяют одно- и двухкомпонентную полиуретановые мастики, которые отличаются способом приготовления смеси перед ее нанесением на поверхность. Так, например, однокомпонентная мастика представляет собой готовую смесь изоцианатных преполимеров с целевыми добавками, которая полимеризуется под воздействием влаги в воздухе. Как правило, срок хранения однокомпонентной мастики не превышает одного года. При двухкомпонентном составе перед нанесением на поверхность полиэфирный компонент требуется смешать с отвердителем (ароматический, алифатический изоцианат или преполимер на основе изоцианатов). Срок хранения двухкомпонентной мастики – больше года.

⁴ Гидроизоляция: полиуретановая или битумная [Электронный ресурс]. – URL: <https://homemasters.ru/articles/stroimaterialy-i-tehnologii/gidroizoljacija-poliuretanovaja-ili-bitumnaja-kakuju-vybrat/>.

Для изготовления полимерного углесодержащего поглотителя электромагнитного излучения была выбрана двухкомпонентная полиуретановая мастика по ТУ РБ 191766081.0002–2013.

В качестве проводящей добавки в полиуретановую мастику были предложены неактивированный и активированный угли. Активированный уголь получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения, таких как древесный уголь, скорлупа кокоса и др., путем активации и карбонизации, т.е. окисления сырья до образования пористой структуры, с получением адсорбента, на 97% по массе состоящего из углерода, практически не содержащего примесей.

В активированных углях различают макро-, мезо- и микропоры, которые классифицируют (рисунок 1) по их линейным размерам:

- не более 0,6–0,7 нм (микропоры);
- от 0,6–0,7 до 1,5–1,6 нм (супермикропоры);
- от 1,5–1,6 до 100–200 нм (мезопоры);
- более 100–200 нм (макропоры).

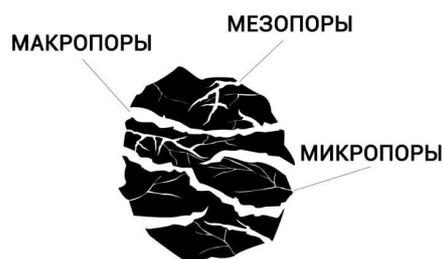


Рисунок 1. – Поры активированного угля

Пористая структура активированного угля позволяет осуществлять адсорбцию и реализовывать механизм объемного заполнения. Так, например, в микропорах удельным объемом от 0,2 до 0,6 см³/г происходит адсорбция молекул⁵. Механизм адсорбции в мезопорах объемом от 0,02 до 0,10 см³/г заключается в последовательном образовании адсорбционных слоев (полимолекулярная адсорбция), который завершается заполнением пор по механизму капиллярной конденсации. Макропоры с удельным объемом от 0,2 до 0,8 см³/г служат транспортными каналами, подводящими молекулы поглощаемых веществ к адсорбционному пространству гранул активированного угля. Микро- и мезопоры составляют наибольшую часть поверхности активированных углей, соответственно, именно они вносят наибольший вклад в их адсорбционные свойства. Микропоры особенно хорошо подходят для адсорбции молекул небольшого размера, мезопоры – для адсорбции более крупных органических молекул.

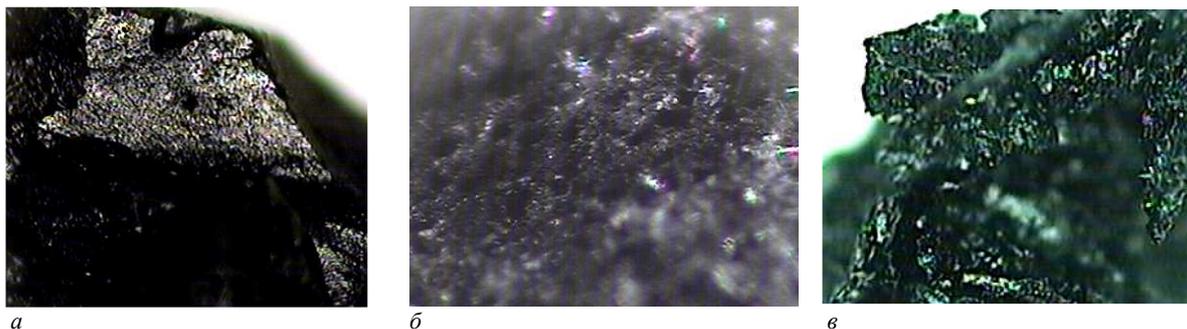
Определяющее влияние на структуру пор активированных углей оказывает исходное сырье, из которого их получают. Наилучшим по качеству очистки считается активированный уголь, изготовленный из скорлупы кокоса, который характеризуется большей долей мезопор размером до 2 нм, в то время как для активированного древесного угля характерно большее количество макропор размером больше 100 нм.

Таким образом, использование активированного угля в качестве добавки в полиуретановую мастику позволит создать структуру из комбинаций проводящего и диэлектрического материалов на микроуровне за счет адсорбции связующего вещества в микро- и макропорах. Поэтому для проверки влияния видов угля на свойства поглощения электромагнитного излучения углесодержащими поглотителями были выбраны следующие виды углей:

- уголь древесный неактивированный (УДН);
- уголь кокосовый активированный (УКА);
- уголь древесный активированный (УДА).

Для определения размера частиц углей, используемых для изготовления углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения, был проведен электронно-микроскопический анализ с использованием бесконтактного видеоизмерительного микроскопа Norgau NVM-2010, оснащенного цветной камерой ПЗС 1/2'. Видеоизмерительный микроскоп Norgau NVM-2010 позволяет осуществлять измерения линейно-угловых значений поверхностей различных материалов и обработку измеренных данных с погрешностью $\pm(3,0 + L/200)$, мкм, где L – измеренная длина, мм, с увеличением оптической системы от 0,7 до 4,5 раз. В результате электронно-микроскопического анализа было установлено, что размер частиц угля кокосового активированного составляет 0,8–1 мм, древесного активированного – 0,9–2,5 мм, древесного неактивированного – 0,3–1,5 мм. На рисунке 2, а, б также можно увидеть единичные макропоры на поверхности частиц активированного древесного и кокосового углей.

⁵ Активированный уголь [Электронный ресурс]. – URL: <http://chemsystem.ru/catalog/386> (дата обращения: 17.07.2022)



а – кокосовый активированный уголь; **б** – древесный активированный уголь;
в – древесный неактивированный уголь

Рисунок 2. – Электронно-микроскопические снимки поверхностей частиц углей при увеличении в 4,5 раза

Для изготовления экспериментальных образцов гибких полимерных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения была разработана методика, которая включает следующие этапы:

1. Откраивание от полотна стекловолнистой ткани фрагмента прямоугольной формы, длина и ширина которого не менее длины и ширины фланца антенны в установке для измерения значений коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения.
2. Смешивание частиц порошкообразного угля (неактивированного древесного, или активированного кокосового, или активированного древесного) с двухкомпонентной полиуретановой мастикой в соотношении 1:4.
3. Нанесение смеси порошкообразного угля и двухкомпонентной полиуретановой мастики слоем толщиной не более 3,0 мм на свободную поверхность фрагмента стекловолнистой ткани.
4. Сушка полученного экспериментального образца поглотителя электромагнитного излучения при стандартных условиях под прессом.

По представленной методике были изготовлены одно-, двух- и трехслойные образцы углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения с разными углями (таблица 2) с толщиной каждого слоя не более 2,5 см.

Таблица 2. – Описание изготовленных образцов углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения

Номер образца	Описание углей, добавляемых в полиуретановую мастику		
	Первый слой	Второй слой	Третий слой
Образец № 1	УДН	–	–
Образец № 2	УКА	–	–
Образец № 3	УДА	–	–
Образец № 4	УКА	УДА	–
Образец № 5	УДН	УДА	–
Образец № 6	УДН	УКА	–
Образец № 7	УДН	УДА	УКА
Образец № 8	УДН	УКА	УДА

Примечание. УДН – уголь древесный неактивированный; УКА – уголь кокосовый активированный; УДА – уголь древесный активированный.

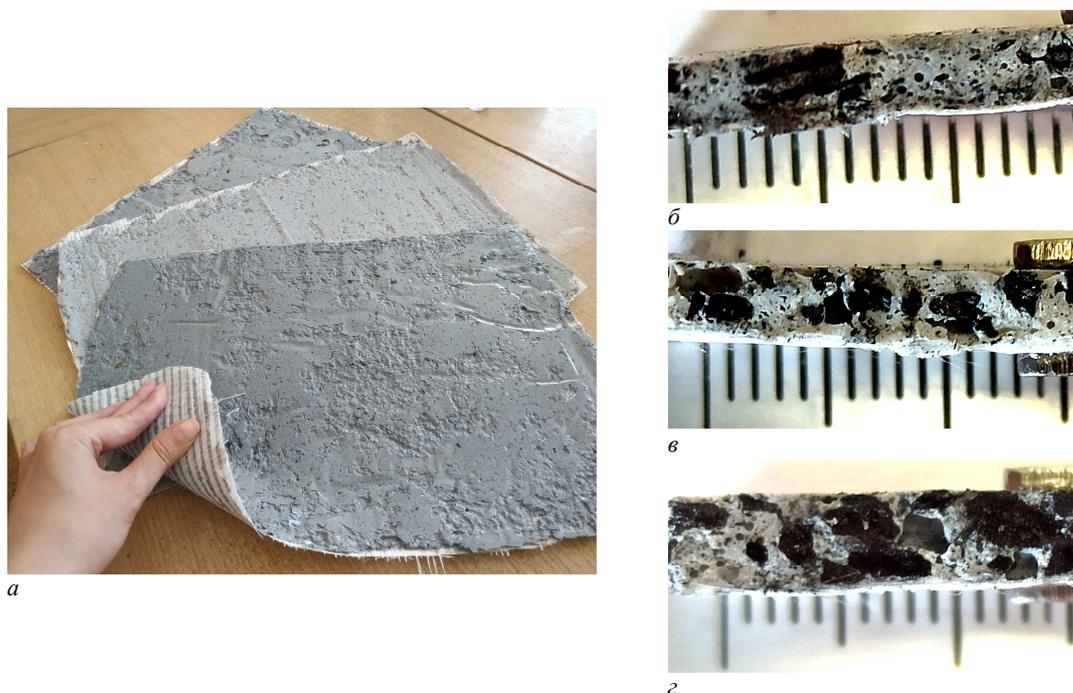
Согласно рисунку 3, представленные изготовленные образцы однослойных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения обладают свойством гибкости и растяжения, устойчивы к деформации и воздействию окружающей среды.

Фотографии поперечного среза образцов однослойных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения показывают, что частицы угля распределяются равномерно, а также присутствуют пустые полости в результате попадания воздуха при изготовлении образцов. Таким образом, структура поглотителей электромагнитного излучения представляет собой хаотическое распределение по толщине частиц угля (размером до 3 мм) с размерами пор до 200 нм и пустых полостей (размером до 2 мм), что в сочетании дает пористый материал, способный поглощать электромагнитное излучение на различных частотах. Удельный вес 1 м² однослойного углесодержащего поглотителя электромагнитного излучения составляет 3 кг.

Измерение коэффициентов отражения и передачи осуществлялось с помощью панорамного измерителя SNA 0,01–18, состоящего из генератора качающейся частоты, блока обработки измерительных сигналов, передающей и приемной рупорных антенн П6-23М, блоков направленных ответвителей для выделения и детектирования падающей, отраженной и прошедшей электромагнитных волн. Калибровка и измерения осуществлялись в автоматическом режиме в соответствии со стандартом⁶, при этом оператором задавались частотный диапазон

⁶ ГОСТ 20271.1-91 Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров. – М: Изд-во стандартов, 1991. – 93 с.

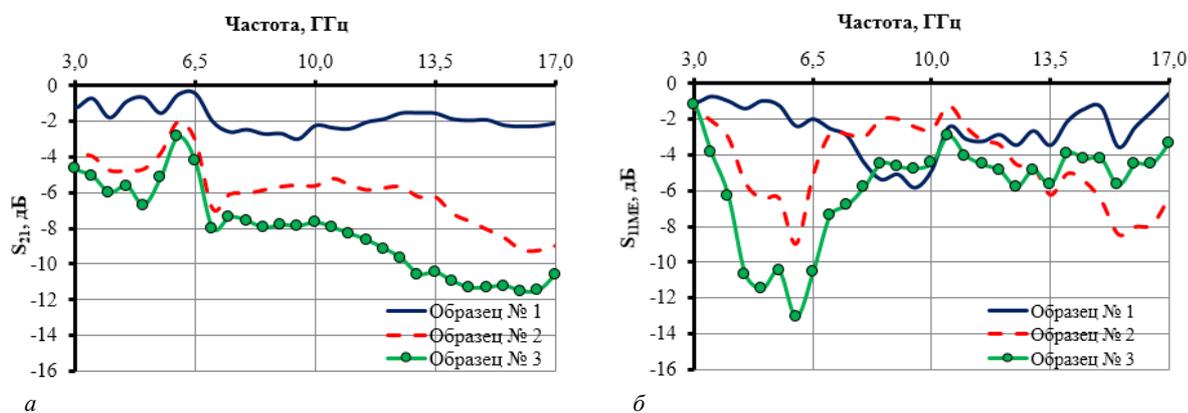
(0,7–3 ГГц или 3–17 ГГц) и измеряемый коэффициент. Измерения коэффициента отражения осуществлялось при расположении образца первым слоем (см. таблицу 2) к передающей антенне и установкой металлического отражателя за образцом с целью исследования взаимодействия электромагнитной волны при помещении образца на поверхность металлического корпуса радиоэлектронных приборов. Коэффициент передачи измерялся при расположении образца углесодержащего поглотителя электромагнитного излучения между передающей и приемной антеннами.



а – внешний вид; *б* – с добавлением УДН; *в* – с добавлением УКА; *г* – с добавлением УДА

Рисунок 3. – Внешний вид и поперечный срез однослойных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения

На рисунке 4 представлены результаты измерений коэффициентов отражения и передачи для однослойных образцов углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения, частотные характеристики которых коррелируют между собой. Как видно из рисунка 4, *а*, значения коэффициента передачи для образца № 3 (АДУ) меньше на 8–9 дБ значений коэффициента передачи для образца № 1 (НДУ), что свидетельствует о большей проводимости АДУ. Минимальное значение коэффициента отражения (–10...–13 дБ в диапазоне частот 4,5–6,5 ГГц) получено для образца № 3 (АДУ), которое обусловлено большим размером пор в структуре частиц АДУ и их заполнением диэлектрическим связующим, что образует слоистую микроструктуру из проводящего и диэлектрического материалов.



а – коэффициент передачи; *б* – коэффициент отражения

Рисунок 4. – Частотные характеристики однослойных образцов углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения

На основе результатов измерений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ однослойных образцов углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения были предложены комбинации двухслойный образцов (рисунок 5), которые включают слой с меньшей проводимостью (меньшим значением коэффициента передачи) и слой с большей проводимостью (большим коэффициентом передачи). Таким образом, были изготовлены образец № 4 (первый слой содержит АКУ) и образцы № 5 и № 6 (первый слой содержит НДУ).

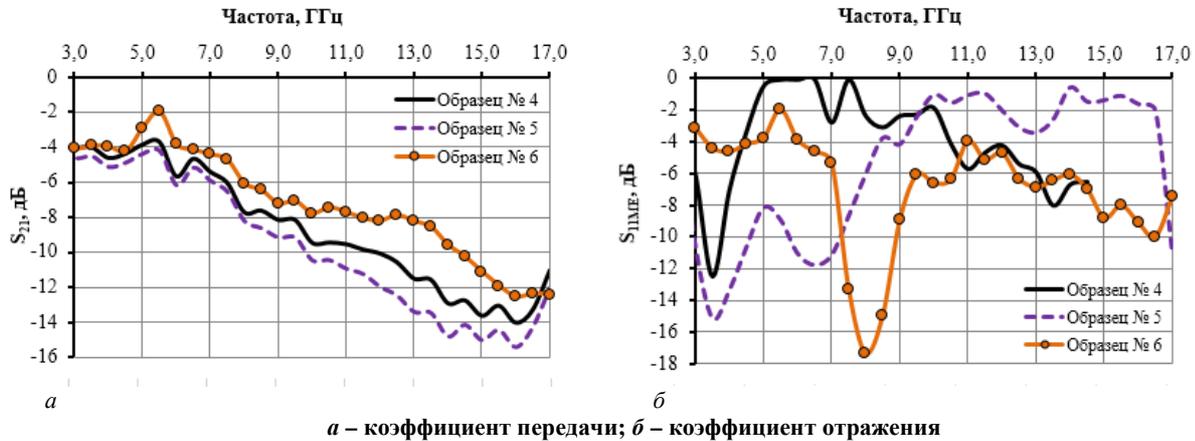


Рисунок 5. – Частотные характеристики двухслойных образцов углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения

Как видно из рисунка 5, *a*, частотные характеристики коэффициентов передачи двухслойных образцов коррелируют с частотными характеристиками коэффициентов передачи однослойных образцов (см. рисунок 4, *a*) с уменьшением на 3–4 дБ. Минимальное значение коэффициента передачи (–15 дБ в диапазоне частот 14–16 ГГц) и коэффициента отражения (менее –8 дБ в диапазоне частот 3–7,5 ГГц) получено для образца № 5, что объясняется соединением слоя с наименьшей проводимостью за счет включения неактивированного древесного угля со слоем наибольшей проводимости, содержащим активированный древесный уголь. Необходимо отметить, что на частотной характеристике коэффициента отражения для образца № 6 наблюдается экстремум на частоте 8 ГГц, равный –17,3 дБ. При измерениях коэффициента отражения в диапазоне частот 0,7–3 ГГц установлено, что на частотах 2,7–3 ГГц его значение достигает –7,3 дБ для образца № 4, –7 дБ для образца № 5, –6,2 дБ для образца № 6.

В продолжение исследования было предложено создать трехслойные образцы углесодержащих поглотителей электромагнитного, первый слой каждого из которых будет содержать уголь с наименьшей проводимостью, а именно уголь древесный неактивированный (рисунок 6). Таким образом, были изготовлены образцы № 7 и № 8 (см. таблицу 2).

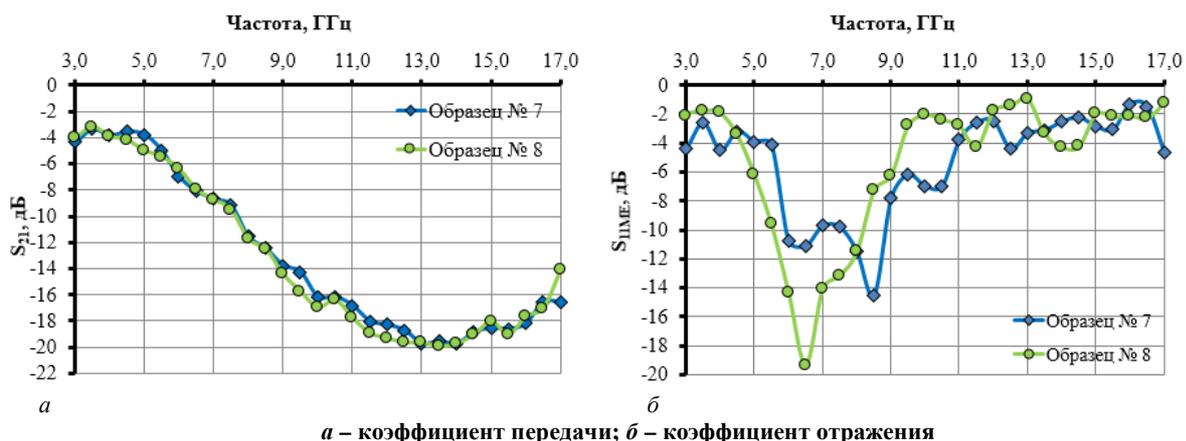


Рисунок 6. – Частотные характеристики трехслойных образцов углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения

Как видно из рисунка 6, *a* значения коэффициентов передачи для образцов № 7 и № 8 практически идентичны и составляют менее –15 дБ на частотах выше 9 ГГц. Минимальные значения коэффициента отражения, полученные для образцов № 7 и № 8 (–14,5 дБ и –15,5 дБ соответственно), находятся на разных частотах (8,5 ГГц и 6,5 ГГц соответственно), что говорит об уровне достаточного экранирования на частотах 7–9 ГГц при использовании таких материалов для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования. В диапазоне частот 2–3 ГГц значения коэффициентов отражения состав-

ляют $-7,5 \dots -11,8$ дБ и $-7,1 \dots -8,4$ дБ для образцов № 7 и № 8 соответственно. Повысить степень эффективности экранирования таких материалов до оптимального уровня можно путем добавления слоя фольгированной пленки и уменьшения коэффициента передачи до -30 дБ на частотах свыше 5 ГГц.

Заключение. Результаты проведенных исследований процесса создания полимерных углесодержащих поглотителей электромагнитного излучения путем добавления в состав полиуретановой мастики порошкообразного угля показали, что однослойный поглотитель на основе полиуретановой мастики с добавлением угля древесного активированного обладает коэффициентом отражения до -13 дБ и коэффициентом передачи до -11 дБ в диапазоне частот 3–17 ГГц. Комбинирование слоя полиуретановой мастики с добавлением угля древесного активированного со слоем полиуретановой мастики с добавлением угля древесного неактивированного позволяет получить углесодержащий поглотитель с коэффициентом отражения порядка $-15,5$ дБ и коэффициентом передачи -15 дБ в диапазоне частот 3–17 ГГц, что соответствует уровню достаточного экранирования. Добавление к двухслойному полимерному углесодержащему поглотителю слоя полиуретановой мастики с углем кокосовым активированным обеспечивает уменьшение коэффициента передачи до значения -20 дБ и коэффициента отражения до $-19,7$ дБ в диапазоне частот 3–17 ГГц. Использование дополнительного слоя фольгированной пленки позволит уменьшить значения коэффициента передачи до -30 дБ и обеспечить уровень оптимального экранирования в диапазоне частот 3–17 ГГц.

Таким образом, двухслойные и трехслойные полимерные углесодержащие поглотители электромагнитного излучения из смеси полиуретановой мастики с добавлением активированного и неактивированного углей можно рекомендовать для обеспечения электромагнитной совместимости с уровнем достаточного экранирования радиоэлектронных приборов от помех в диапазоне частот 3–17 ГГц.

Представленные в данной статье результаты получены в рамках научно-исследовательской работы «Разработка радиопоглощающих композиционных структур на основе порошкообразных углесодержащих материалов» по заданию № 1.5 «Разработка новых материалов и технологий для систем электромагнитной защиты радиоэлектронного и информационного оборудования, биологических объектов от воздействия широкого спектра электромагнитных излучений, обеспечения электромагнитной безопасности населения и электромагнитной совместимости электро-, радиотехнических средств и оборудования» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефанов В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учеб. пособие / В.И. Ефанов, А.А. Тихомиров. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с.
2. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учеб. пособие / Н.Н. Харлов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.

REFERENCES

1. Efanov, V.I. & Tikhomirov, V.I. (2012). *Elektromagnitnaya sovместimost' radioelektronnykh sredstv i sistem*. Tomsk: Tomskii gosudarstvennyi universitet sistem upravleniya i radioelektroniki. (In Russ.)
2. Kharlov, N.N. (2007). *Elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike*. Tomsk: Izd-vo TPU. (In Russ.)

Поступила 16.12.2022

FLEXIBLE POLYMERIC CHARCOAL-CONTAINING ELECTROMAGNETIC RADIATION ABSORBERS FOR PROVIDING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIOELECTRONIC DEVICES

E. BELOUSOVA, O. BOIPRAV, S. SAVANOVICH, D. BARDZILOUSKAYA
(Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk)

Process research results of creating polymer charcoal-containing electromagnetic radiation absorbers by adding powdered coal (coconut activated, wood activated and non-activated) to the composition of polyurethane mastic for reducing the reflection coefficient of electromagnetic radiation in order to ensure the electromagnetic compatibility of radioelectronic devices are presented in the article. A technique for creating charcoal-containing electromagnetic radiation absorbers has been developed, according to which single-layer, two-layer and three-layer carbon-containing electromagnetic radiation absorbers samples have been obtained. The structure of coal particles and the mechanism of their distribution in polyurethane mastic have been studied. Based on the analysis of reflection and transmission coefficients frequency characteristics in the frequency range 3–17 GHz, the optimal layers position and their composition was determined to obtain the optimal shielding level for radioelectronic devices from electromagnetic interference and ensuring electromagnetic compatibility.

Keywords: reflection coefficient, transmission coefficient, electromagnetic radiation absorber, shielding, electromagnetic compatibility, charcoal.