

УДК 621.315.5

Н.В. Колбун, Т.А. Пулко,
С.Н. Петров, А.М. Прудник, Л.М. Лыньков

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И АКУСТИЧЕСКОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Беларусь

The technologies for production of multilayered structures based on fiber and capillary porous water-containing materials and magnetite are given. The measurements results of the electromagnetic and acoustic properties of such materials are performed. The creation possibility of composite multilayered panels with the value of electromagnetic wave attenuation over 30 dB and isolation indexes of air noise 32 dB is shown.

Целью серии работ, выполняемых в лаборатории материалов электронной и сверхпроводниковой техники БГУИР, является разработка технологий изготовления композиционных материалов для конструкций электромагнитных экранов, которые характеризуются высокими значениями ослабления при низком уровне отражения электромагнитной энергии в широком диапазоне частот, гибкостью конструкции и низкими массогабаритными показателями. Кроме того, разрабатывается направление создания комбинированных экранов для обеспечения электромагнитно-акустической защиты помещений специального назначения.

Материалы, экранирующие электромагнитное излучение (ЭМИ) и акустические волны, используются при защите информации от утечки по каналам побочных ЭМИ и акустическим каналам; для снижения радиолокационной видимости объектов военной техники; для защиты от электромагнитного оружия, могут применяться при противодействии электромагнитному терроризму, а также для защиты биологических объектов от воздействия излучений РЭА бытового и промышленного назначения, создания измерительных помещений и камер [1, 2].

Экраны ЭМИ на основе волокнистых материалов. Создание экранов ЭМИ на основе машинно-вязаных и волокнистых материалов позволяет получить гибкие конструкции, обладающие сравнительно небольшой массой.

Разработанная технология изготовления базового модуля экрана ЭМИ включает:

- формирование машинно-вязаного полотна для изготовления матрицы базового модуля на основе волокнистых материалов, технологические параметры матрицы задаются исходя из требуемых характеристик;
- изготовление матриц базовых модулей из машинно-вязаного полотна;
- изготовление герметизирующего материала в соответствии с требованиями технологического процесса;
- синтез влагосодержащего технологического наполнителя;
- ввод технологического наполнителя в капиллярно-пористую матрицу базового модуля и герметизация полученного элемента конструкции.

Влагосодержащий технологический наполнитель представляет собой водный раствор солей металлов и органических добавок. Его состав определяется электромагнитными свойствами конструкции и режимами эксплуатации экрана.

В зависимости от метода изготовления пропитка волокнистого материала и герметизация могут проводиться в различных последовательностях.

В первом варианте отрезок машинно-вязаного полотна или матрица из целлюлозного материала помещается в сосуд с наполнителем, а затем выкладывается на ровную поверхность для удаления излишков влаги. Далее капиллярно-пористая матрица с наполнителем помещается между двумя слоями герметизирующего материала и производится соединение герметизирующих слоев между собой по периметру, далее производится откачка воздуха из базового модуля с использованием компрессора. Затем следует операция контроля качества герметизации.

Во втором варианте капиллярно-пористая матрица помещается между двумя слоями герметизирующего материала. Для предотвращения сдвигания слоев относительно друг друга в процессе эксплуатации конструкции элементы соединяются между собой в нескольких местах с использованием водостойкого клея. Производится соединение слоев герметизирующего материала по периметру. Дозатором через иглу вводится наполнитель с откачкой вытесняемого воздуха. Затем производится герметизация места ввода наполнителя и проверка качества герметизации.

Исследована зависимость временной стабильности влагосодержания капиллярно-пористого материала от вида герметизирующего материала. В качестве герметизирующих материалов были использованы различные виды полимеров: полиэтилен; многослойная полиэстерная пленка толщиной 100 мкм; многослойная полиэстерная пленка 200 мкм; поливинилхлорид толщиной 400 мкм; поливинилхлорид толщиной 300 мкм и многослойная полиэтиленовая пленка толщиной 200 мкм.

Изменение влагосодержания оценивалось гравиметрическим способом с использованием прецизионных весов ВЛР-200. Формирование герметизирующего слоя из полиэтилена осуществлялось оплавлением с шириной шва 1 мм, слои из поливинилхлорида соединялись между собой склеиванием водостойким герметиком.

Использование в качестве герметизирующего слоя многослойных пленок толщиной 200 мкм на основе полиэтилена и полиамида позволило замедлить снижение влагосодержания до 0,2 % за 30 суток. Многослойные полиэстерные пленки снижают влагосодержание на 2 % за 21 сутки. Показано, что 10 %-е снижение влагосодержания существенно не влияет на изменение коэффициента ослабления [3].

Созданные конструкции экранов на основе машинно-вязаных полотен с влагосодержащим наполнителем позволили получить ослабление ЭМИ 15...45 дБ в диапазоне частот 8...115 ГГц.

Многослойные экраны ЭМИ с отражателем. Многослойная конструкция экрана ЭМИ на основе волокнистых материалов содержит отражающий, поглощающий и согласующий слои. Для согласования параметров экрана с параметрами свободного пространства обычно используются материалы с низкой эффективностью экранирования и низким коэффициентом отражения.

Технология изготовления многослойных конструкций включает:

- изготовление машинно-вязаного полотна;
- изготовление отражающего слоя;
- изготовление согласующего слоя;
- синтез растворного технологического наполнителя;
- заполнение основы базового модуля наполнителем.

Исследованы характеристики многослойных конструкций на основе волокнистых материалов с влагосодержащими наполнителями и отражателем (алюминиевая фольга толщиной 9 мкм) [4]. Исследовалось влияние на свойства конструкции включения в состав согласующего слоя, представляющего собой полотно с вплетенным микропроводом.

Закрепление наполнителя в капиллярно-пористой структуре волокнистых материалов производилось путем пропитки. В качестве основы использовалось машинно-вязаное полотно повышенной плотности толщиной 1,6 мм и уплотненный волокнистый целлюлозный материал толщиной 2 мм. Влажесодержание образцов составляло 0,6. Результаты измерений коэффициентов ослабления и отражения ЭМИ представлены на рис. 1.

Ослабление однослойных образцов № 1 и № 2 в диапазоне 8...11,5 ГГц составило 12 дБ. Эффективность обусловлена высокими потерями воды на проводимость в этом диапазоне, что, однако, определяет коэффициент отражения ЭМИ около -3,5 дБ. Образец № 3, содержащий отражатель, характеризуется ослаблением более 30 дБ. Исследование отражения ЭМИ двух- и трехслойными конструкциями дает основание предположить наличие резонансного эффекта суперпозиции электромагнитных волн, отраженных от границ разделов слоев, в направлении излучателя и внутри материала, что приводит к снижению общего коэффициента отражения до -6...-7,5 дБ.

Экраны ЭМИ на основе порошкового TiO_2 . С целью создания экранов ЭМИ на основе порошкового TiO_2 было разработано две технологии. Первая позволяет изготавливать экраны на основе влажесодержащего TiO_2 , а вторая — на основе химически модифицированного TiO_2 . Введение кластеров металлов в порошковую массу TiO_2 позволяет изменять характеристики в сторону снижения отражения и увеличения поглощения ЭМИ.

Технологический процесс изготовления экрана ЭМИ на основе порошкового влажесодержащего TiO_2 включает следующие стадии:

- разметка и раскрой материала основания на отрезки необходимых размеров;
- подготовка влажесодержащего технологического наполнителя;
- нанесение технологического наполнителя на основание;
- герметизация полученного элемента конструкции.

Подготовка технологического наполнителя включает в себя процессы формирования водного раствора, содержащего добавки, необходимые для понижения температуры кристаллизации раствора и смешивания полученного раствора с порошком TiO_2 .

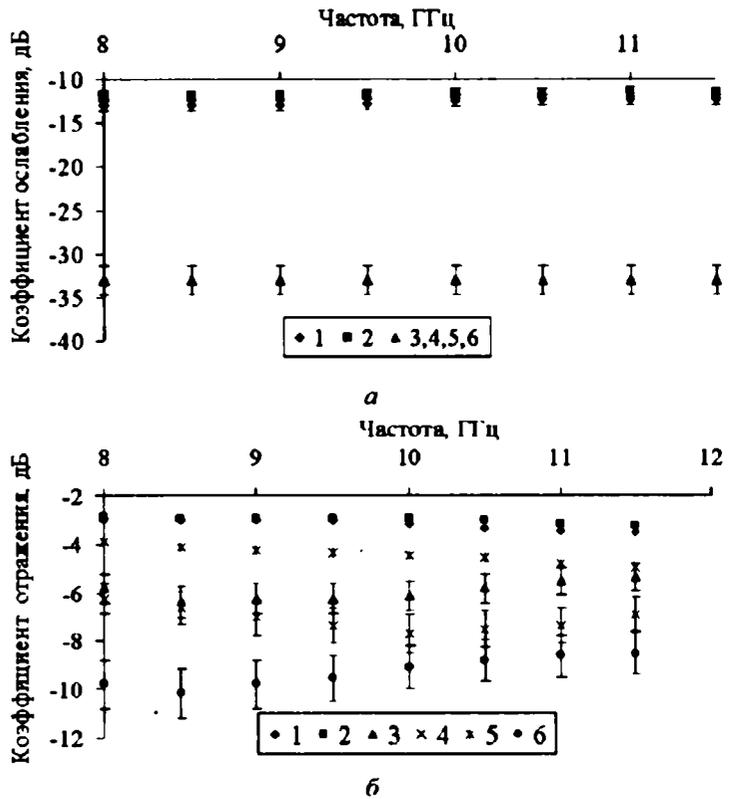


Рис. 1. Коэффициенты ослабления (а) и отражения (б) композиционных материалов влажесодержащих волокнистых материалов: 1 — сверхуплотненное машинно-вязаное полотно; 2 — уплотненный целлюлозный материал; 3 — комбинация образца № 1 и отражателя; 4 — комбинация образца № 2 и отражателя; 5 — трехслойный материал: два слоя образца № 1 и отражатель; 6 — трехслойный материал: полотно с вплетенным микропроводом, образец № 1 и отражатель

При герметизации подготовленный модуль помещается между двумя слоями герметизирующего материала и производится соединение слоев между собой по периметру методом горячего прессования. Одновременно с герметизацией производится откачка воздуха из базового модуля с использованием компрессора. Остальные этапы технологического процесса выполняются аналогично вышеописанным.

Технология изготовления экранов ЭМИ на основе химически модифицированного TiO_2 подобна предыдущей. При этом в подготовку технологического наполнителя, включается операция введения в полученную смесь металлических кластеров химическим осаждением.

Для увеличения гибкости конструкции поглотителей на основе TiO_2 в состав модуля может быть введен синтетический сетчатый материал, позволяющий надежно фиксировать технологический наполнитель на основе. Сетка фиксируется на основе с помощью сшивания или склейки. И далее технологический наполнитель наносится на полученную конструкцию плоским предметом. По завершению операции нанесения наполнителя на основу производится герметизация модуля.

Подготовка технологического наполнителя заключается в формировании раствора путем перемешивания порошкового TiO_2 с водой. Далее подготавливается водный раствор $NiSO_4$. Затем полученные растворы перемешиваются в одном сосуде. После чего приготовленную смесь прогревают до 45–50 °С и добавляют восстановитель в избыточном количестве и снова прогревают. После изменения окраса раствора с черного на светло-зеленый сливается лишний восстановитель. Для предотвращения дальнейшей модификации полученного состава производится дополнительная обработка низкомолекулярными поверхностно-активными веществами.

Проведены измерения свойств композиционных материалов на основе TiO_2 с латексно-акриловым связующим, заполненным стеклокерамическими и силиконовыми микросферами (10–100 мкм) с воздухом, а также многослойных материалов, полученных нанесением данной композиции на поверхность капиллярно-пористой матрицы.

Экранирующие свойства материалов измерялись в диапазоне частот 8...11,5 ГГц с использованием панорамного индикатора КСВН и ослабления Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводного измерительного тракта. Ослабление ЭМИ измерялось для образцов без металлического отражателя, который существенно увеличивает эффективность экранирования (свыше 40 дБ).

Установлено, что слой композиционного материала толщиной 1 мм создает ослабление ЭМИ 6...7 дБ при величине коэффициента отражения –8...–12 дБ.

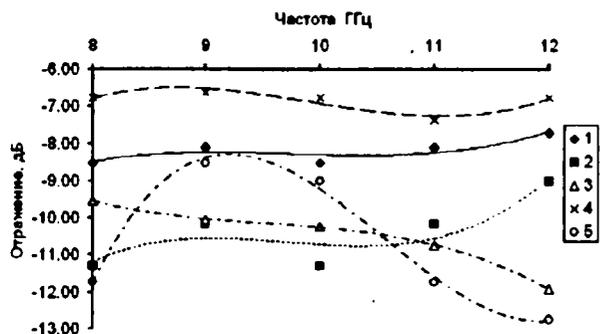


Рис. 2. Зависимости коэффициента отражения от частоты: 1 — TiO_2 + композиционный материал (КМ) + машинно-вязаное полотно; 2 — TiO_2 + КМ + машинно-вязаное полотно + отражатель; 3 — TiO_2 + фольгированный пенополиэтилен; 4 — TiO_2 + КМ без микросфер + машинно-вязаное полотно; 5 — TiO_2 + КМ без микросфер + машинно-вязаное полотно + отражатель

Отражение электромагнитной энергии снижается до –11 дБ при использовании отражателя и до –12 дБ при использовании фольгированного пенополиэтилена. Снижение уровня отражения обусловлено улучшенным согласованием с волновым сопротивлением свободного пространства за счет создания градиента диэлектрической проницаемости по толщине образца [5].

Использование описанного материала позволяет создавать поглотители ЭМИ с повышенной эффективностью и расширенным диапазоном рабочих частот за счет высоких диэлектрических потерь композиции и многократного переотражения ЭМИ от границ раздела микросфероидного порошкового наполнителя.

Акустические экраны. Для создания систем пассивной защиты информации необходима разработка многослойных материалов, обеспечивающих подавление как электромагнитных, так и акустических сигналов, позволяющих таким образом снизить риск перехвата информации при ее передаче и обработке, и обеспечить многофакторную защиту объектов.

На рис. 3 приведены зависимости звукоизоляции от частоты для панелей на основе стекломгнезита, битумной мастики и алюминиевой фольги звуковой волны. Стекломгнезит представляет собой материал, содержащий $MgO + MgCl_2$ (80–85 %), перлит (до 5 %) и стеклянное волокно (1–2 %). Добавление в конструкцию прослойки из битумной мастики приводит к увеличению внутренних потерь на трение и, следовательно, увеличению звукоизоляции. Многослойная панель из стекломгнезита, битумной мастики и фольги имеет индекс изоляции воздушного шума 32 дБ.

Заключение. Разработана технология изготовления базовых модулей для электромагнитного и акустического экранирования из композиционных материалов на основе машинно-вязаных, волокнистых, капиллярно-пористых и порошковых материалов, содержащих технологические наполнители. Также разработаны методы изготовления композиционных экранирующих материалов и технологические приемы, позволяющие улучшить их экранирующие свойства. Предложены герметизирующие материалы для временной стабилизации экранирующих характеристик базовых модулей.

Разработана технология изготовления многослойных наборных конструкций влагосодержащих экранов ЭМИ. Применение влагосодержащих машинно-вязаных полотен с отражателем из алюминиевой фольги позволяет существенно увеличить коэффициент ослабления (свыше 35 дБ) и уменьшить долю отражаемой энергии (до 15 % в диапазоне 8... 11,5 ГГц).

Предложены методы изготовления композиционных влагосодержащих поглотителей ЭМИ на основе TiO_2 , обладающих высокими эксплуатационными показателями и возможностью варьирования электромагнитными характеристиками [6].

Показано, что наиболее эффективными поглощающими свойствами обладают конструкции, содержащие в составе наполнителя органические добавки и соли металлов, что позволяет при окружающей температуре –15 °С сохранить гибкость конструкции и обеспечивает величину ослабления не хуже 12 дБ в диапазоне частот 8... 12 ГГц.

Список использованных источников

1. Bogush V., Borbot'ko T., Kolbun N., Lynkov L. Novel composite shielding materials for supression of microwave radiation // *Proceedings of the 16th International conference on microwaves, radar and wireless communications (MICON 2006). Krakow, Poland, 22–24 May, 2006. Vol. 2. P. 345–348.*
2. Колбун Н.В., Борботько 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.*

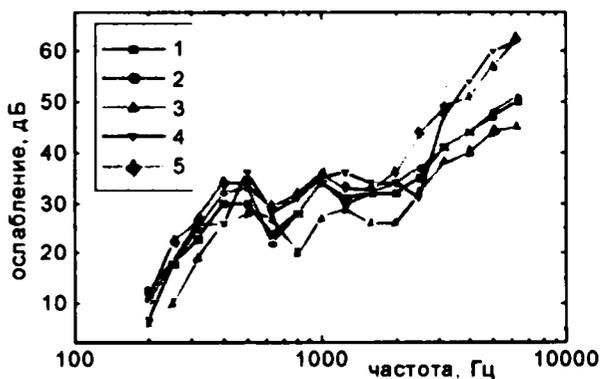


Рис. 3. Зависимость звукоизоляции от частоты: 1 — лист стекломгнезита толщиной 4 мм, слой резины толщиной 1 мм, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм; 2 — лист стекломгнезита толщиной 4 мм, демпфирующий слой битумной мастики, слой клея, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм; 3 — лист стекломгнезита толщиной 4 мм, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм на клею; 4 — сочетание вариантов 1 и 3; 5 — сочетание вариантов 2 и 3

3. Лыньков Л.М. и др. Гравиметрическое исследование временной стабильности влагосодержащих поглотителей ЭМП // Технические средства защиты информации: Материалы II Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Нарочь, май, 2004 г. Минск, 2004. С. 48-50.

4. Колбун Н.В., Фан Н. Занг, Лыньков Л.М. Исследование состояния влаги в пористых средах на основе силикагеля при их низкотемпературной обработке // Доклады БГУИР. 2006. № 1. С. 59-62.

5. Соколов В.Б., Колбун Н.В. Применение латексно-акрилового композиционного материала для экранирования электромагнитных волн // Междунар. научно-технич. конференция «Новые технологии изготовления многокристалльных модулей»: Материалы докладов и краткие сообщения, 25-29 сентября, 2006. Минск: БГУИР, 2006. С. 79.

6. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. Поглотитель электромагнитного излучения: Пат. 1516 Республики Беларусь, МПК H 01 Q 17 00. № и20040015. Заявл. 14.01.2004; Опубл. 30.09.2004 // Афіцыйны бюлетэнь Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 2004. № 3. С. 267.

УДК 621.793.3

О.В. Рева¹, Т.Н. Воробьева², Т.В. Лавреш¹

ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК МЕТАЛЛОВ НА ПОЛИИМИДЕ И ПОЛИКАРБОНАТЕ

¹Командно-инженерный институт МЧС РБ, ²Белгосунiversитет
г. Минск, Беларусь

The principles of electroless metal multilayer deposition onto very smooth and chemical stable substrates were developed. The functional electro conductive systems Ni – Cu – Sn, Ni – Cu – Au and Cu – Ni – Au were obtained.

С развитием микроэлектроники постоянно расширяется перечень используемых материалов, появляются изделия новых типов и назначения, повышаются требования к традиционным интегральным схемам и печатным платам. Проводится миниатюризация размеров элементов и толщины слоев, повышение плотности монтажа, формирование многослойных систем из нескольких металлов (Cu – Ni – Au, Ni – Cu – Sn и др.), гибких многослойных кабелей с межуровневой изоляцией. Использование в качестве основы полимеров с чрезвычайно гладкой и химически инертной поверхностью позволяет уменьшить размеры элементов без потери электрофизических свойств, но при этом возникают проблемы обеспечения адгезии металлических покрытий и функциональных рисунков к подложкам.

Методы вакуумного нанесения пленок металлов с предварительным плазмохимическим и лазерным травлением подложек обеспечивают высокое качество изделий, но являются энерго- и материалоемкими, в связи с чем растет актуальность получения сложных многослойных изделий более простым и дешевым путем осаждения металлов из растворов. Процессы химического и электрохимического осаждения пленок металлов на диэлектрики позволяют обеспечить равномерную толщину покрытий на изделиях сложного профиля, получение сплавов, композиционных и многослойных тонкопленочных материалов [1, 2], однако проблемы адгезии