

ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ ПЕНОПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.В. КОЛБУН, Х.М. АЛЬЛЯБАД, Л.М. ЛЫНЬКОВ

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

Поступила в редакцию 30 октября 2007

В некоторых случаях большой удельный вес экранирующих материалов ограничивает их применение. Для создания экранов с небольшой массой предложено использовать вспененные материалы, которые представляют собой дисперсную структуру жидкости, формирующую пространственный каркас, характеристики которого задаются параметрами пенообразования. Исследованы экранирующие свойства композиционных материалов, полученных на основе пенополимеров, содержащих различные растворные наполнители. Оптимизирован состав растворного наполнителя для получения экранирующего материала со сниженным коэффициентом отражения в диапазоне частот 8–11,5 ГГц.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, композиционные радиопоглощающие материалы, вспененные материалы, эффективность экранирования.

Введение

Использование экранирующих материалов для снижения уровня побочных электромагнитных излучений мобильных электронных устройств (таких как, например, приборы радиосвязи, персональные компьютеры и пр.) предъявляет дополнительные требования к массогабаритным характеристикам экранов, функциональности применяемого материала для обеспечения удобства эксплуатации защищенного устройства и получения изделий различной конфигурации, адаптированных для конкретных применений. Применение радиопоглотителей большого размера для создания экранированных помещений приводит к снижению внутреннего рабочего пространства, что особенно критично в передвижных экранированных камерах. Кроме того, для монтажа и удержания экранов ЭМИ с большой массой требуются надежные механические каркасы большой прочности.

Защита передвижных объектов от обнаружения в радиолокационном диапазоне с помощью специальных маскирующих материалов создает дополнительную нагрузку на энергетическую часть, снижая ходовые характеристики объекта или уменьшая его маневренность.

Исследования в области синтеза композиционных материалов, направленные на создание широкодиапазонных высокоэффективных экранов электромагнитного излучения с невысоким коэффициентом отражения и сниженными массогабаритными характеристиками, являются перспективными для применения в областях биологической защиты организма пользователя от воздействия ЭМИ бытовых и промышленных источников, создания защищенных портативных электронных устройств с подавлением побочных электромагнитных излучений и наводок, влияющих на окружающие устройства или создающих угрозу перехвата информации, снижения уровня переизлучаемого сигнала радиосредств обнаружения и позиционирования [1, 2].

В работах [3–5] предлагается применять влагосодержащие материалы для создания экранов и поглотителей электромагнитного излучения, однако композиционные материалы

с большой концентрацией жидкости в объеме обладают существенным весом, что в некоторых случаях ограничивает их применение.

Уменьшения массы конструкции можно достичь применением материалов с меньшей удельной плотностью, снижением удельного веса на единицу объема используемых материалов или созданием развитой неоднородной дисперсной структуры, содержащей газовую (воздушную), жидкую или твердую фазы.

В качестве таких материалов предлагается использовать вспененные среды, которые представляют собой ячеистые дисперсные системы, состоящие из совокупности пузырьков газа, разделенных тонкими прослойками жидкости. Размер дисперсной фазы (пузырьков воздуха) лежит в пределах от долей миллиметров до нескольких сантиметров. Общий объем сформированной дисперсионной системы существенно превосходит объем жидкости, находящейся в прослойках, при той же массе материала, что позволяет значительно снизить вес при неизменной толщине [6].

Вспененные материалы, твердые и жидкие, широко применяются в быту и промышленности в качестве уплотнительных, огнезащитных и обратимо сорбирующих материалов для извлечения нефтепродуктов или аэрозолей, очистки бытовых и промышленных сточных вод, фильтрации смесей, уменьшения выброса в атмосферу радиоактивных или токсичных продуктов сгорания, тушении пожаров, в качестве теплоизоляционных материалов, при производстве пищевых продуктов и строительных материалов и т.д.

Твердые вспененные материалы включают пенополимерные материалы (газонаполненные полимерные композиции), пенографит (на основе природного графита), пенобетон, пеностекло, пеношлаки и др., жидкие — используются в пищевой и парфюмерной промышленности, при пожаротушении и т.д.

Пенообразование происходит при диспергировании газа в жидкой среде и во время выделения новой газовой фазы в объеме жидкости в присутствии в ней пенообразователей, которые облегчают вспенивание и затрудняют отток жидкости из пенных пленок, препятствуя слиянию пузырьков за счет снижения поверхностного натяжения и создания адсорбционного слоя с положительным расклинивающим давлением. Пены получают физическими, механическими и химическими методами диспергирования воздуха в жидкой среде, такими как встряхивание, взбивание, перемешивание, барботирование воздуха, выливание раствора на раствор, организация процесса газовой выделения в растворе за счет химического взаимодействия исходных компонентов природного (микроорганизмы) или синтетического (техпроцесс) происхождения [7].

Структура вспененных материалов описывается кратностью, дисперсностью и стабильностью.

Кратность пены показывает отношение объема дисперсной структуры к объему жидкой фазы и может достигать 1000. В высокократных пенах пузырьки газа имеют форму многогранных ячеек, а прослойки жидкости представляют собой пленки толщиной несколько сотен, иногда несколько десятков нанометров. Такие пленки образуют пространственный каркас, обладающий некоторой упругостью и прочностью, приобретая свойства структурированных систем.

Дисперсность пены определяет однородность ее фракционного состава — полидисперсные (пузырьки различных размеров) и монодисперсные пены.

Устойчивость пены определяется по времени уменьшения на 50% объема или высоты слоя пены, изменению ее дисперсности и другими методами.

Целью данной работы является исследование экранирующих характеристик вспененных материалов и их зависимости от параметров структуры пены и состава дисперсионной жидкости.

Экспериментальная часть

Объектом проводимых исследований являлись твердые пенополимерные материалы, формирующие пространственную дисперсную структуру различных жидкостей. Пенополимерные образцы заполнялись одинаковым удельным объемом жидкости, толщина образцов состав-

ляла 5 мм. После заполнения основы производилась герметизация многослойными полимерными пленками для снижения испарения жидкости из объема материала. Исследование эффективности экранирования ЭМИ проводилось измерением частотных зависимостей в диапазоне частот 8–12 ГГц ослабления и коэффициента отражения ЭМИ.

Удельная масса пенополимерного материала, который используется для формирования дисперсной структуры, составляет 630 г/м².

Для измерений использовался панорамный измеритель КСВН и ослабления Я2Р-67 с ГКЧ–61 и волноводный тракт. Калибровка оборудования производилась по стандартной методике, затем образец помещался между фланцами волноводных секций.

Результаты и обсуждение

В качестве дисперсионной жидкости были выбраны водные растворы органических и неорганических веществ, соли металлов, спирты.

Результаты измерений эффективности экранирования приведены в табл. 1–3.

Таблица 1. Частотная зависимость ослабления ЭМИ в диапазоне 8–12 ГГц вспененным полимерным материалом с различными растворными наполнителями, дБ

Растворный наполнитель	Частота, ГГц								
	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
Вода	8,8	8,6	8,4	8,6	8,8	9	9	9	9
Водный раствор силиката натрия	9,8	9,6	9,6	9,7	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
Водный раствор NaCl	13,2	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Водный раствор глицерина (30%)	6,5	6,55	6,7	7,3	7,6	7,7	7,7	7,7	7,7
Водный раствор аморфного кремнезема	7,4	6,8	6,8	7,2	7,6	8,1	8,3	8,3	8,3
Водно-спиртовой раствор (30%)	10,7	10,5	10,45	10,45	10,45	10,45	10,5	10,5	10,5

На основе полученных результатов измерения коэффициентов отражения ЭМИ образцами и многослойной структурой, содержащей образец и металлический отражатель, были выбраны растворные наполнители, создающие наименьший уровень отражаемой энергии.

Таблица 2. Частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 8–12 ГГц вспененным полимерным материалом с различными растворными наполнителями с плотным слоем, обращенным к излучателю, дБ

Растворный наполнитель	Частота, ГГц								
	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
Вода	-5,3	-5,5	-6,2	-6,7	-6,0	-6,2	-6,4	-6,4	-5,3
Водный раствор силиката натрия	-11,3	-11,4	-12,5	-14,6	-15,7	-16,3	-16,1	-15,2	-11,3
Водный раствор NaCl	-4,3	-4,3	-4,5	-4,8	-5,1	-5,4	-5,5	-5,5	-4,3
Водный раствор глицерина (30 %)	-11,2	-11,5	-11,9	-12,3	-12,4	-12,2	-11,7	-11,7	-11,2
Водный раствор аморфного кремнезема	-3,4	-3,4	-3,6	-3,9	-4,3	-4,5	-4,7	-4,7	-3,4
Водно-спиртовой раствор (30%)	-14,6	-15,2	-16,5	-17,8	-19,7	-20,3	-20,4	-20,4	-14,6

Таблица 3. Частотная зависимость коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне 8–12 ГГц вспененным полимерным материалом с различными растворными наполнителями с плотным слоем, обращенным к излучателю, и металлическим отражателем, установленным за образцом, дБ

Растворный наполнитель	Частота, ГГц								
	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
Вода	-6,9	-7,0	-6,9	-6,7	-7,0	-6,4	-5,8	-5,8	-6,9
Водный раствор силиката натрия	-10,9	-12,5	-12,3	-11,3	-10,3	-9,4	-8,8	-8,8	-10,9
Водный раствор NaCl	-4,9	-5,0	-5,1	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,1	-4,9
Водный раствор глицерина (30 %)	-13,1	-14,7	-14,9	-14,6	-13,4	-12,5	-11,7	-11,3	-13,1
Водный раствор аморфного кремнезема	-3,5	-3,4	-3,4	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5
Водно-спиртовой раствор (30%)	-12,7	-14,0	-14,0	-13,3	-12,7	-12,7	-12,2	-11,7	-12,7

Большим достоинством использования воды в качестве основы для поглощающих наполнителей композиционных материалов является ее высокая химическая активность, дающая возможность синтезировать растворы с различными свойствами на ее основе.

Синтез водных растворов приводит к изменению характеристик жидкости: электропроводности и диэлектрической проницаемости раствора, вязкости и т.д. Использование в радиопоглощающих конструкциях различных растворов на основе дистиллированной воды позволяет получить РПМ с управляемыми электромагнитными характеристиками [8].

Механизм поглощения электромагнитной энергии водой связан с процессом ориентационной дипольной релаксации. Введение проводящих компонентов в раствор дополнительно создает потери на проводимость за счет возникновения вихревых токов в электролите. Использование органических и неорганических добавок, формирующих соединения с молекулами воды и ограничивающих их движение в электрическом поле, приводит к уменьшению диэлектрических потерь жидкости, снижению общей эффективности экранирования ЭМИ однослойным влагосодержащим материалом и понижению уровня коэффициента отражения.

Как показали результаты измерений, использование воды для заполнения пенополимерного материала создает ослабление ЭМИ около 9 дБ в исследованном диапазоне частот. Коэффициент отражения при этом составляет $-5 \div -7$ дБ. Введение соли NaCl приводит к увеличению электропроводности водного раствора, ослабление электромагнитной энергии повышается до 12–13 дБ за счет роста доли отражаемой энергии (до $-4 \div -5$ дБ). Снижение коэффициента отражения ЭМИ образцами достигается использованием водных растворов органических и неорганических соединений, что приводит к понижению концентрации воды, а следовательно, снижению проводимости и диэлектрической проницаемости раствора за счет связывания молекул воды.

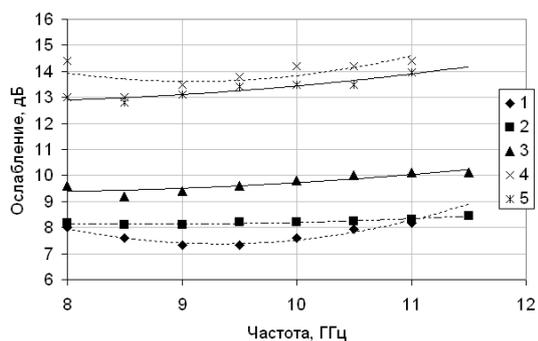
Для оптимизации состава растворного наполнителя в целях получения экранирующего материала с низким коэффициентом отражения были исследованы комбинации выбранных растворов в различных соотношениях, обозначенных в табл. 1–3 полужирным шрифтом.

Результаты измерений приведены на рисунке.

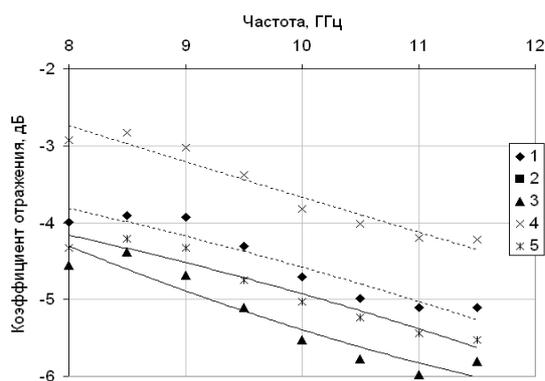
Как показывают результаты измерений, образцы, содержащие водные растворы глицерина и спирта обеспечивают более высокое ослабление энергии электромагнитного излучения на уровне 13–14,5 дБ вследствие более высокой концентрации воды в общем количестве наполнителя. При повышении доли растворенных веществ, не обладающих диэлектрическими свойствами, величина ослабления ЭМИ снижается до 7–10 дБ. Коэффициент отражения ЭМИ образцами изменяется в пределах $-2,7 \div -6$ дБ. Наиболее низкий уровень отражения ЭМИ ($-5 \div -6$ дБ) обеспечивается при формировании гидродисперсной структуры раствора с равным содержанием водо-спиртовой смеси и водного раствора глицерина вследствие его невысокой диэлектрической проницаемости и небольшого отличия его электромагнитных свойств от свободного пространства.

Для повышения эффективности экранирования ЭМИ могут применяться многослойные конструкции, комбинирующие механизмы отражения, рассеивания и поглощения электромагнитного излучения. Для подавления мощности излучения применяется металлический слой, толщина которого определяется исходя из глубины поверхностного слоя для частоты измерения и для СВЧ диапазона составляет доли миллиметра. В результате общая эффективность подавления ЭМИ превышает 40 дБ. Большой уровень энергии, переизлучаемой металлом, гасится в верхнем согласующем слое, выполненном из поглощающего материала с неоднородной структурой. Электромагнитные свойства материала стараются получить как можно более близкими к характеристикам свободного пространства для минимизации отражения ЭМВ на границе раздела воздух-материал.

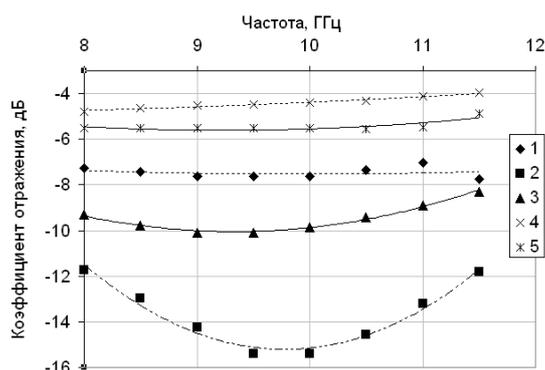
Наименьшим коэффициентом отражения ЭМИ ($-12 \div -15$ дБ) в исследованном диапазоне частот обладает многослойный образец, содержащий раствор на основе водного раствора глицерина и водно-спиртового раствора в соотношении 7:3. Уровень отражаемой энергии образца, содержащего исследуемые жидкости в равных соотношениях, составляет $-8 \div -10$ дБ. Характеристики отражения образцов с водными растворами спирта и глицерина, за которыми установлен металлический отражатель, составляют $-4 \div -6$ дБ.



a



б



в

Частотные зависимости ослабления ЭМИ (*a*) пенополимерными материалами с водными растворами различного состава и КСВН образцов (*б*) и многослойной конструкции с металлическим отражателем (*в*): 1 — водный раствор глицерина и водно-спиртовой раствор в соотношении 3:7; 2 — водный раствор глицерина и водно-спиртовой раствор (7:3); 3 — водный раствор глицерина и водно-спиртовой раствор (1:1); 4 — водный раствор глицерина и водно-спиртовой раствор (0:1); 5 — водный раствор глицерина и водно-спиртовой раствор (1:0)

При определенной толщине согласующего слоя электромагнитные волны, отраженные от границ раздела разных сред на различной глубине материала, частично или полностью взаимокompенсируются. Этот эффект наблюдается в некотором частотном диапазоне с неравномерной характеристикой отражения ЭМИ. Частотная зависимость носит нерезко выраженный резонансный характер вследствие неоднородной структуры поглощающего материала, которая создает условия для суперпозиции электромагнитных сигналов с некоторым диапазоном длин волн. Поэтому для дальнейшего уменьшения коэффициента отражения ЭМИ с применением металлического отражателя необходима оптимизация толщины применяемого пенополимерного материала и его электромагнитных свойств.

Выводы

Применение вспененных материалов, как твердых, так и жидкообразных, перспективно для создания экранирующих и радиопоглощающих материалов со сниженным весом вследствие формирования развитой пространственной структуры композита. Управление параметрами пенообразования и составом растворного наполнителя позволяет получить различные экранирующие характеристики создаваемых материалов.

WATER-CONTAINING FOAM MATERIALS APPLICATION FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDING

N.V. KOLBUN, H.M. ALLEBAD, L.M. LYNKOV

Abstract

A heavy weight of shielding materials restricts their application in some cases. It is proposed to use foam materials forming a dispersed liquid structure, which parameters are set by the foaming process. The shielding characteristics of composites based on foamed polymers containing various liquid fillers are investigated. The composition of solution is optimized to achieve a shielding material possessing low-reflection in the frequency range of 8–11,5 GHz and light weight.

Литература

1. Поглотители электромагнитного излучения. Применение в Вооруженных силах / *Т.В. Борботько и др.* Минск, 2006.
2. ГОСТ 30381-95 ССБТ. Поглотители электромагнитных волн для экранированных камер. Общие технические требования. Минск, 2000. 24 с.
3. *Лыньков Л.М., Богуш В.А., Колбун Н.В. и др.* // Докл. БГУИР. 2004. Т. 2, № 5. С. 152–167.
4. *Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Богуш В.А.* // Вестн. ПГУ. Сер. В. Прикладные науки. 2004. № 12. С. 30–34.
5. *Vogush V., Borbot'ko T., Kolbun N., Lynkov L.* // Proc. of the 16th Int. conf. on microwaves, radar and wireless communications (MICON 2006). Krakow, Poland. 22–24 May, 2006. Vol. 2. P. 345–348.
6. *Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П.* Коллоидная химия. СПб., 2003.
7. *Тихомиров В.К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М., 1983.
8. *Либерман Б.М., Гайдук В.И.* // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44, № 1. С. 97–103.