

УДК 620.22, 621.372

## ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. КАЗЕКА, С.Н. ПЕТРОВ, А.С. ФАРХАТ, А.М. ПРУДНИК

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

*Поступила в редакцию 3 ноября 2008*

Рассмотрены конструкции экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) на основе капиллярно-пористых материалов. Дано описание измерительной установки и методики измерений. Приведены экспериментально полученные данные в виде графических зависимостей коэффициентов передачи и отражения в диапазоне частот 0,7–140 ГГц.

*Ключевые слова:* электромагнитное излучение, гибкие радиопоглощающие материалы, влагосодержащие экраны ЭМИ.

### Введение

Активное использование электромагнитного ресурса, связанное с развитием радиосвязи и различных систем передачи информации, телевидения, сотовой связи, радиолокации и радионавигации, приводит к появлению дополнительного электромагнитного фона, который оказывает существенное влияние на живые организмы и технические объекты. Длительное воздействие СВЧ-излучений может привести к изменениям в крови, нервно-психологическим заболеваниям, нарушению работы механизмов адаптации организма. Многочисленные исследования в области воздействия ЭМИ сотового телефона на организм человека показывают наличие отклика [1]. В целях защиты человека от воздействия ЭМИ предлагается использовать капиллярно-пористые материалы, пропитанные жидким раствором на основе воды. Их преимущество заключается в обеспечении высокого коэффициента ослабления электромагнитной волны при невысоком уровне отражаемого сигнала [2].

Актуальность разработки высокоэффективных, широкополосных экранов ЭМИ обусловливается не только проблемами воздействия ЭМИ на живые организмы, но и высокой потребностью в таких материалах при разработке и усовершенствовании конструкций изделий радиоэлектроники, устройств защиты информации и военной техники.

Исследования экранирующих материалов связаны с измерением эффективности экранирования, то есть с измерением напряженности электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля в одной и той же точке пространства до и после установления экрана. Эффективность экранирования исследуемых конструкций экранов характеризуется коэффициентом ослабления энергии электромагнитного излучения и коэффициентом отражения электромагнитных волн от экрана [3].

### Обоснование выбора радиопоглощающих материалов

Особым классом радиопоглощающих материалов являются жидкие среды с диэлектрическими потерями [4]. Такие среды могут быть реализованы на основе водных или неводных растворов, содержащих добавки для увеличения магнитных и диэлектрических потерь, проводимости, а также улучшения эксплуатационных характеристик готовых изделий. Использование в качестве наполнителя воды обусловлено ее высокой диэлектрической проницаемостью

(около 80) и соответственно высокими диэлектрическими потерями, возможностью введения различных добавок из растворимых солей.

Пористые волокнистые материалы представляют собой относительно недорогую и технологичную основу для фиксации жидких сред методом пропитки. Они обладают высокой влажностью, которая зависит от материала волокон и конструкции полотна и может варьироваться в широких пределах. Волокнистые материалы отличаются, с одной стороны, улучшенными механическими характеристиками и гибкостью, а с другой — позволяют реализовать более высокую эффективность поглощения за счет использования особенностей распространения ЭМИ в волокнистых средах.

Применение поглощающих и согласующих слоев на основе капиллярно-пористых материалов позволяет понизить отражение радиоволн от поверхности и увеличить их поглощение по мере проникновения вглубь материала за счет создания градиентной структуры, в которой слои располагаются с увеличением электрических и магнитных потерь.

Исследованные образцы представляли собой многослойные конструкции. Первый образец включал в себя один слой из синтетического машинно-вязаного полотна и один слой из нетканого целлюлозного полотна. Второй образец включал в себя один слой синтетического машинно-вязаного полотна, один слой нетканого целлюлозного полотна, один слой алюминиевой фольги толщиной 7 мкм. Были изучены различные варианты расположения слоев конструкции относительно излучателя. Все образцы были пропитаны жидким растворным наполнителем, в состав которого входят  $\geq 50\%$  воды и высокомолекулярные органические соединения (спирты) для обеспечения эксплуатации поглотителя при температуре ниже  $0^\circ\text{C}$ . В качестве капиллярно-пористой основы использовались волокнистые материалы: синтетическое машинно-вязаное полотно, нетканый целлюлозный материал. Была произведена герметизация образцов полиэтиленом для предотвращения испарения жидкостного наполнителя в процессе эксплуатации и хранения материала.

### **Методика проведения измерений**

Исследование экранирующих свойств изготовленных образцов экранов ЭМИ проводилось с помощью скалярных анализаторов цепей, позволяющих получить информацию о соотношениях амплитуд волн в измерительном тракте путем вычисления модулей комплексных элементов волновой матрицы рассеяния, описывающей линейный четырехполюсник (ЧП) [5].

При измерении электромагнитных характеристик материалов в СВЧ диапазоне 0,7–140 ГГц необходимо производить деление всего диапазона на несколько поддиапазонов, отличающихся условиями распространения радиоволн, а также используемой измерительной аппаратурой и методикой измерений.

На частотах в сотни МГц применялась коаксиальная техника, на участках сантиметрового и миллиметрового диапазона — волноводные линии передачи.

Допущения, связанные с пренебрежением незначительным затуханием электромагнитного излучения в свободном пространстве по сравнению с ослаблением излучения, обеспечиваемым материалом экрана, позволяют использовать упрощенную методику измерения эффективности экранирования образцов. В этом случае экран представляется в качестве пассивного ЧП, а для оценки эффективности экрана измерялся модуль коэффициента передачи в прямом направлении, равный отношению напряженности электромагнитного поля на выходе ЧП к ее значению на входе. Из практических соображений для оценки величины отражаемой энергии использован коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН).

Для исследования экранирующих характеристик созданных образцов экранов использовались панорамные измерители КСВН и ослабления P2-102, P2-107, P2-104, P2-65, P2-120, P2-121, PP2-01, P2-123, работающие по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волны. Сигнал, пропорциональный мощности, падающей на нагрузку, выделяется направленным детектором падающей волны. Ослабление, вносимое исследуемым образцом, определяется отношением сигналов, выделяемых направленными детекторами отраженной и падающей волны. Сигнал, отраженный от исследуемой нагрузки, выделяется направленным детектором отраженной волны.

Измерения КСВН и ослабления проводились в панорамном режиме. Калибровка приборов осуществлялась во всем рабочем диапазоне качания частоты и уровня падающей мощности.

В качестве излучателя и приемника сигнала использовались рупорные антенны, между которыми размещались исследуемые образцы. Образцы с отражателем располагались отражателем к приемной антенне. При допущениях того, что коэффициент затухания в свободном пространстве близок к нулю, а расстояние между излучателем и приемником также стремится к нулю, величина затухания в свободном пространстве очень мала, и эффективность экранирования можно принять равной модулю коэффициента прямой передачи пассивного ЧП.

### Результаты и их обсуждение

Экспериментально были получены частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения. На рис. 1, 3 показано, что расположение к излучателю образцов со стороны машинно-вязаного полотна в диапазоне частот 0,7–6 ГГц и 18–140 ГГц приводит к **увеличению** коэффициента отражения с –1,8 дБ до –10 дБ. При этом значение ослабления образца с отражателем до частоты 15 ГГц достигает от 25 дБ до 40 дБ, а без него от 10 дБ до 32 дБ.

Изменение положения полотен относительно излучателя (рис. 2,4) привело к **увеличению** коэффициента отражения в диапазоне частот от 0,7–7 ГГц с –3 дБ до –12 дБ и в диапазоне частот от 53–140 ГГц с –4 дБ до –12 дБ. Величина ослабления образца с отражателем до частоты 15 ГГц достигает от 23 дБ до 38 дБ, а без него от 12 дБ до 35 дБ.

Экраны на основе машинно-вязаного и целлюлозного полотен, пропитанных водосоудержающим раствором, как с металлическим отражателем, так и без него, имеют коэффициент отражения ЭМИ, отличающийся в 1–2 дБ в диапазоне частот от 0,7–140 ГГц. Коэффициент отражения образца, первый слой которого выполнен из целлюлозного полотна, от 1,6 до 5 ГГц и от 78–108 ГГц меньше, чем у образца с первым слоем из машинно-вязаного полотна от 2 до 4 дБ, а на частотах от 132–140 ГГц выше на 3,5 дБ, при этом величина ослабления отличается на 1–2 дБ во всем исследуемом диапазоне частот.

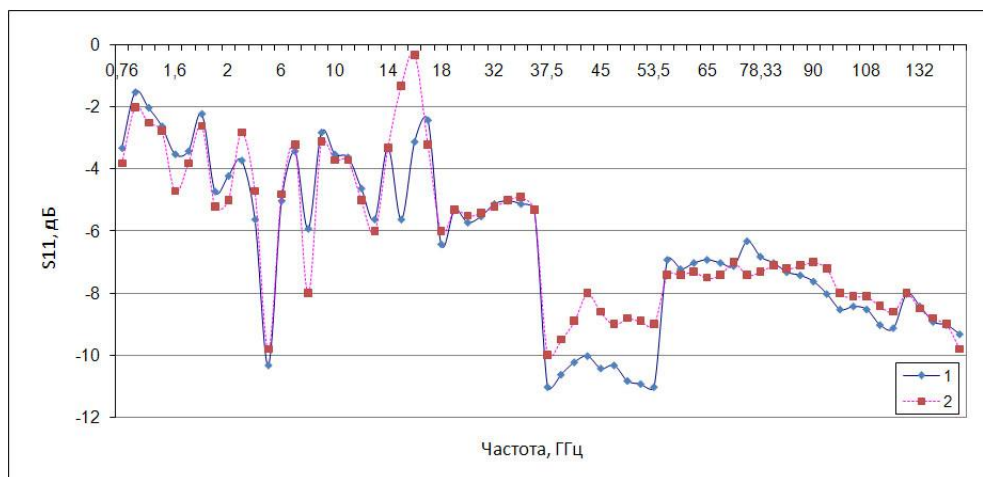


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны: 1 — машинно-вязаное полотно и целлюлозное полотно; 2 — машинно-вязаное полотно и целлюлозное полотно с отражателем

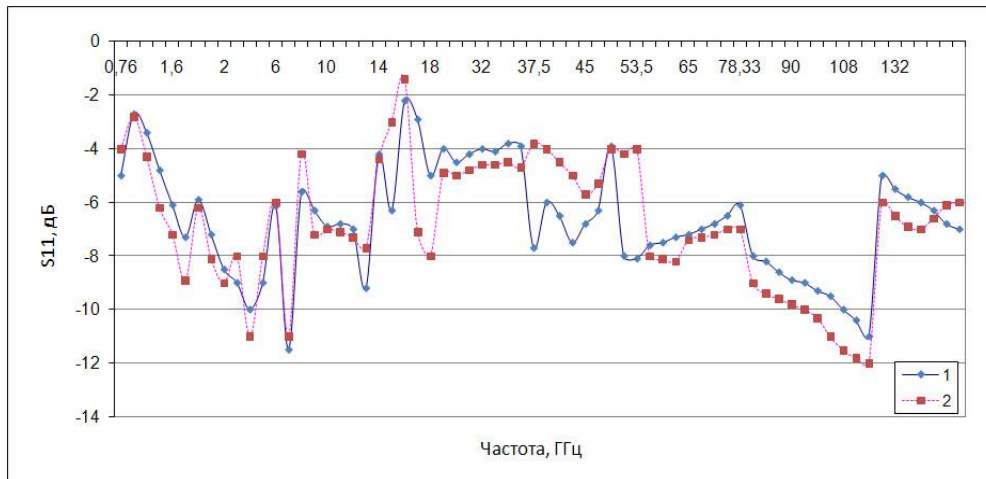


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны: 1 — целлюлозное полотно и машинно-вязаное полотно; 2 — целлюлозное полотно и машинно-вязаное полотно с отражателем

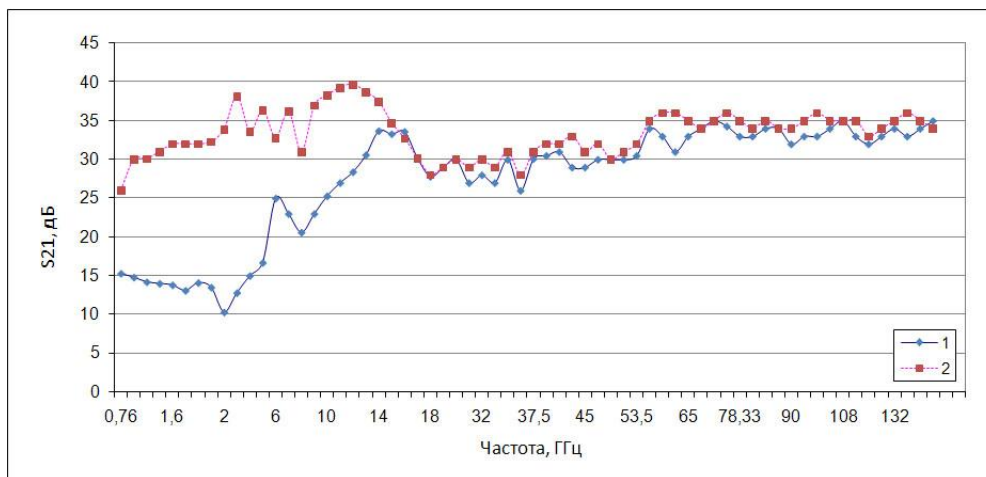


Рис. 3. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны: 1 — машинно-вязаное полотно и целлюлозное полотно; 2 — машинно-вязаное полотно и целлюлозное полотно с отражателем

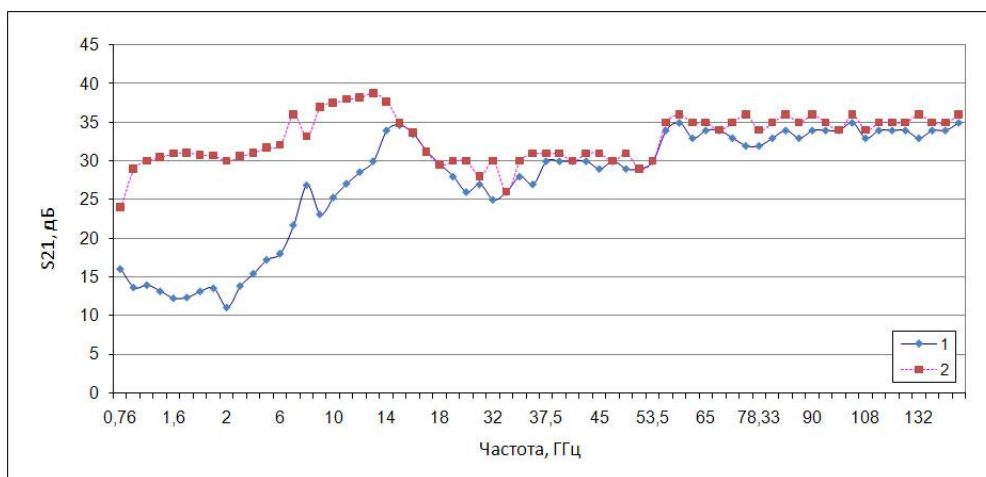


Рис. 4. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны: 1 — целлюлозное полотно и машинно-вязаное полотно; 2 — целлюлозное полотно и машинно-вязаное полотно с отражателем

## Заклучение

Получены характеристики отражения и ослабления композиционных материалов. Установлено, что применение многослойной конструкции, первый слой которой выполнен из целлюлозного полотна, второй — из машинно-вязаного полотна, третий слой из отражателя на основе алюминиевой фольги толщиной 7 мкм, позволяет снизить уровень электромагнитного излучения до 35 дБ в диапазоне частот от 0,7 ГГц до 140 ГГц. Коэффициент отражения в данном диапазоне частот принимает значение от –4 дБ до –10 дБ.

Водосодержащие поглотители электромагнитного излучения на основе целлюлозного материала наиболее просты в изготовлении и обладают малой стоимостью. Они могут применяться для экранирования системных блоков персональных компьютеров и для создания защищенных помещений.

## ELECTROMAGNETIC RADIATION SHIELDS BASED ON CAPILLARY-POROUS MATERIALS

A.A. KAZEKA, S.N. PETROV, A.S. FARHAT, A.M. PROUDNIK

### Abstract

Materials of wideband electromagnetic radiation shields based on capillary-porous matrixes are discussed. Experimentally obtained characteristic of electromagnetic interference attenuation and reflection in the frequency range 0.7...140 GHz are analyzed. Designing based on capillary-porous matrixes is described.

### Литература

1. Лебедева Н.Н., Сулимов А.В., Сулимова О.П. и др. // Биомед. радиоэлектроника. 1998. №4. С. 3–12.
2. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Под ред. Л.М. Лынькова. Минск, 2000.
3. Шапиро Д.Н. // Основы теории электромагнитного экранирования. Л., 1975.
4. Богуш В.А., Лыньков Л.М., Борботько Т.В. // Докл. БГУИР. 2004. № 3. 152–167.
5. Богуш В.А., Борботько Т.В., Гусинский А.В. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. Минск, 2003.