

УДК 621.315.5

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Н.В. КОЛБУН, С.Н. ПЕТРОВ, А.М. ПРУДНИК

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

Поступила в редакцию 14 марта 2009

Приведены результаты исследования электромагнитных и акустических характеристик многослойных водосодержащих материалов и материалов на основе стекломagnesита для создания систем интегральной защиты. Показана возможность создания многослойных панелей с величиной ослабления электромагнитных волн более 25 дБ и индексом изоляции воздушного шума 32 дБ.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, акустическая волна, защитные материалы, эффективность экранирования, звукоизоляция.

Введение

В настоящее время радиозащитные и радиопоглощающие материалы (РПМ), а также конструкции на их основе, широко применяются для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), защиты информации от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН), для снижения радиолокационной заметности объектов военной техники, защиты РЭА от поражающего воздействия электромагнитного оружия. Также такие материалы применяются для создания средств защиты биологических объектов от воздействия ЭМИ, для облицовки безэховых камер при проведении сертификационных и других видов измерений.

Звукопоглощающие материалы и звукоизолирующие конструкции находят применение в области строительства, производственной санитарии, оборудования специальных помещений и для защиты речевой информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам.

Одним из направлений разработки современных систем пассивной защиты информации является разработка материалов и конструкций, 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.

Радио- и звукопоглощающие материалы могут быть использованы как при строительстве и отделке помещений, так и для создания передвижных, разборных модульных конструкций. При этом массогабаритные характеристики разборных конструкций имеют существенное значение. Основным принципом экранирования как электромагнитных, так и акустических сигналов является перенаправление энергии колебаний за счет отражения от поверхностей с геометрическими неоднородностями, а также на поглощении волн внутри материалов. При этом для увеличения эффективности экранирования предпочтение отдается многослойным структурам из материалов с различными электрическими, магнитными и звукопоглощающими свойствами, что позволяет значительно снизить массогабаритные характеристики экранов.

Экранирование высокочастотных радиоизлучений может осуществляться токопроводящими красками, фольгой, металлизированными тканями, которые обеспечивают эффектив-

ность экранирования по электрическому полю от 40 до 90 дБ и по магнитному полю от 2 до 55 дБ в диапазоне частот от 100 кГц до 10 ГГц [1].

Эффективность звукоизолирующих конструкций достигается применением материалов, обеспечивающих большую массу панелей и специальными способами их монтажа. Так в работе [2] рассматривается кабина для проведения конфиденциальных переговоров Л-44, с уровнем звукоизоляции 25 дБ, при массе конструкции 1280 кг, которая не предусматривает защиты от утечки информации по каналам ПЭМИН.

В работе [3] для создания экологически безопасных защищенных помещений предлагается использовать радио- и звукопоглощающие плиты "Феррилар-5". Интегральные панели на их основе обладают относительно большими массой (свыше 40 кг) и габаритами (толщина до 17 см) и стоимостью, поэтому используются для облицовки измерительных безэховых камер и ограничены в распространении. Перспективными материалами являются пористые пеноматериалы: пеностекло, пенокерамика и ячеистые бетоны, которые вследствие специфики технологического процесса их изготовления позволяют производить добавление различных порошковых материалов для улучшения их экранирующих характеристик. Так, добавление в диэлектрическую вспененную основу углеродосодержащих включений обуславливает высокие радиопоглощающие свойства этих материалов, а особенность структуры (наличие большого числа сообщающихся между собой полостей) обеспечивает высокий уровень звукопоглощения.

Целью работы является исследование звукоизолирующих и экранирующих свойств материалов, обладающих малой массой для создания многослойных интегральных защитных панелей на их основе.

Экспериментальная часть

Таким образом, для создания интегральных защитных конструкций требуется применение материалов, обладающих потерями для ЭМИ диапазона СВЧ, с неоднородной структурой, рассеивающей распространяющиеся волны, сформированной из нескольких слоев с различными микроволновыми и акустическими свойствами.

В качестве образцов для исследований использовались: прозрачные конструкции из 4 мм силикатного стекла с водосодержащим (1 и 30 % водный раствор NaCl) наполнителем толщиной 10 мм, волокнистые матрицы, на основе целлюлозы и машинно-вязаного полотна, пропитанные водой, герметизированные полиэтиленом для предотвращения ухода влаги, двухслойный образец на основе влагосодержащего машинно-вязаного полотна и слоя порошкообразного шунгита, многослойный образец, включающий листовую стекломagneзит, на который наносился слой битумной мастики. При измерении экранирующих свойств всех оптически непрозрачных образцов последним слоем являлась алюминиевая фольга толщиной 0,2 мм для повышения общей эффективности подавления ЭМИ.

Звукоизоляция экспериментальных образцов измерялась на экспериментальной установке, описанной в работе [4]. Сигнал "белого шума", сформированный генератором, воспроизводился динамиком и излучался в трубу, все сечение которой перекрывает образец. Регистрация спектра сигнала за образцом осуществлялась микрофоном, соединенным с шумомером-спектроанализатором МАНОМ-4. Измерения проводились в третьоктавных полосах в частотном диапазоне от 200 до 8 000 Гц. Звукоизоляция рассчитывалась как разность уровней звукового давления при прямом прохождении звука и при прохождении звука через исследуемый образец.

Исследование экранирующих свойств созданных образцов 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 [5], и волноводного измерительного тракта с рупорными антеннами. Эффективность экранирования ЭМИ исследуемыми конструкциями характеризуется величиной ослабления энергии ЭМИ и коэффициентом отражения электромагнитных волн от экрана. Измерения проводились в СВЧ диапазоне 0,7–140 ГГц с разделением диапазона на несколько поддиапазонов, охватываемых применяемой измерительной аппаратурой.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены частотные зависимости звукоизоляции прозрачными конструкциями из силикатного стекла, заполненными воздухом и 1% водным раствором NaCl. Из рисунка видно, что заполнение стеклопакета раствором соли привело к снижению звукоизоляции на величину от 1 до 15 дБ. Очевидно, подобное снижение звукоизолирующей способности допустимо только для интегральной конструкции (компромисс между звукоизоляцией и радиоэкранированием). Процентное содержание в растворе NaCl не оказывает влияния на величину звукоизоляции.

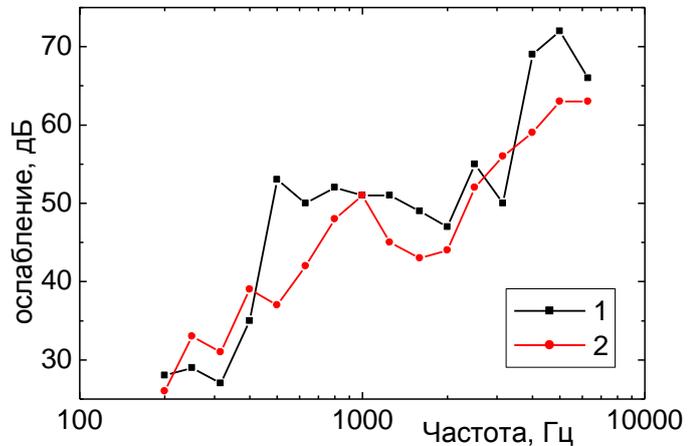


Рис. 1. Зависимость звукоизоляции от частоты: 1 — конструкцией из силикатного стекла, заполненной воздухом; 2 — конструкцией из силикатного стекла, заполненной 1% водным раствором NaCl

На рис. 2–3 представлены характеристики отражения и ослабления ЭМИ для прозрачных конструкций из силикатного стекла, содержащих водные 1 и 30% растворы NaCl. Из исследованных в диапазоне частот 1–150 ГГц характеристик установлена их высокая эффективность по отражению (около 18%) и в 1000 раз и более (на частотах 5 ГГц и выше) по ослаблению ЭМИ без использования металлического отражателя. Конструкция, содержащая 30% раствор NaCl, имеет величину ослабления ЭМИ на 15–20 дБ больше в диапазоне частот до 10 ГГц, по сравнению со стеклопакетом с 1% раствором NaCl вследствие более высокой проводимости раствора. Дальнейшее увеличение концентрации соли в растворе приводит к помутнению жидкости и соответственно к снижению оптической прозрачности и светопропускания.

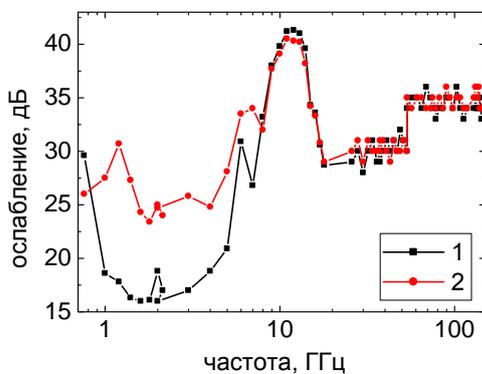


Рис. 2. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны конструкцией из силикатного стекла, заполненной: 1 — 1% водным раствором NaCl; 2 — 30% водным раствором NaCl

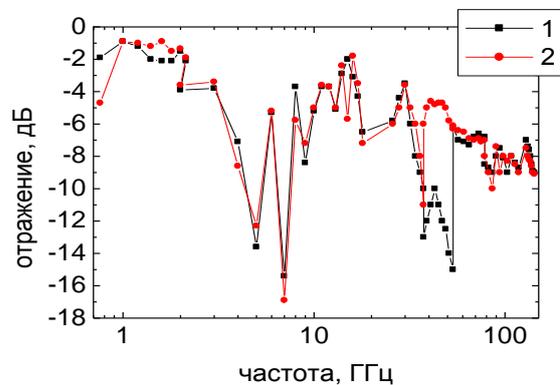


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны однокамерным стеклопакетом, заполненным: 1 — 1% водным раствором NaCl; 2 — 30% водным раствором NaCl

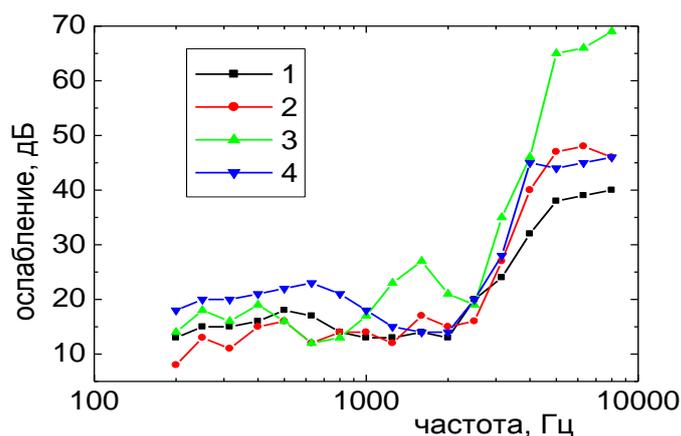


Рис. 4. Зависимость ослабления воздушного шума от частоты: 1 — машинно-вязаным полотном с алюминиевым отражателем; 2 — целлюлозным полотном, пропитанным водой; 3 — двумя слоями целлюлозного полотна, пропитанного водой; 4 — двухслойной конструкцией на основе влагосодержащих машинно-вязаного полотна и порошка шунгита

на основе стекломгнезита) приведет к увеличению эффективности ослабления звука.

Использование слоя водосодержащего порошка шунгита (фракции $\sim 0,1-0,2$ мм) в комбинации с машинно-вязаным полотном показывает (рис. 5–6) возможность отражения ЭМИ до 25% и менее в диапазоне частот 1–150 ГГц, а применение отражателя из металла позволяет повысить эффективность ослабления до 1000 раз и более.

На рис. 7–8 представлены характеристики отражения и ослабления ЭМИ целлюлозными водосодержащими материалами. Из рассмотренных водосодержащих материалов они обладают наименьшим уровнем характеристики отражения ЭМИ. Ослабление ЭМИ на образцах с отражателями намного эффективнее в диапазоне частот 10 ГГц и более.

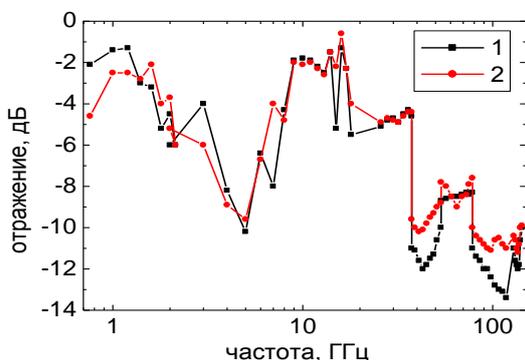


Рис. 5. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны: 1 — двухслойной конструкцией на основе влагосодержащих машинно-вязаного полотна и порошка шунгита; 2 — двухслойной конструкцией на основе влагосодержащих машинно-вязаного полотна и порошка шунгита с алюминиевым отражателем

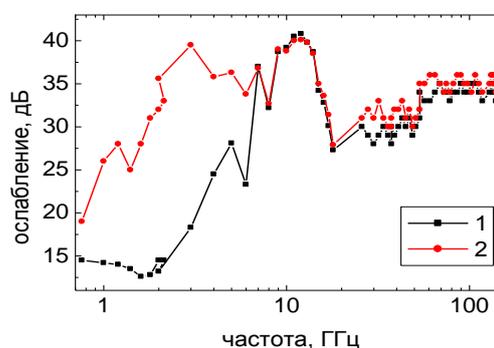


Рис. 6. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны: 1 — двухслойной конструкцией на основе влагосодержащих машинно-вязаного полотна и порошка шунгита; 2 — двухслойной конструкцией на основе влагосодержащих машинно-вязаного полотна и порошка шунгита с алюминиевым отражателем

На рис. 4 представлены зависимости ослабления воздушного шума от частоты машинно-вязаными и целлюлозными полотнами, пропитанными водой. Все исследованные материалы имеют схожую характеристику ослабления воздушного шума. Самостоятельное применение таких материалов не обеспечит высокий уровень звукоизоляции. Это объясняется тем, что исследованные образцы имеют слишком малую толщину и массу для эффективного ослабления звука, а также ослабляют звук преимущественно за счет звукопоглощения (имеют пористую структуру). Увеличение массогабаритных характеристик рассмотренных образцов за счет комбинации с жесткими слоями (панели

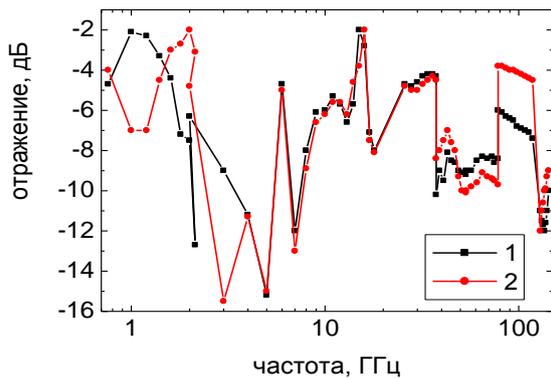


Рис. 7. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны: 1 — экраном из целлюлозного полотна, пропитанного водой; 2 — экраном из целлюлозного полотна, пропитанного водой, с алюминиевым отражателем

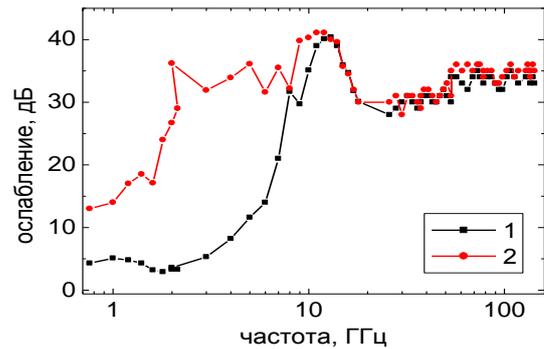


Рис. 8. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны: 1 — экраном из целлюлозного полотна, пропитанного водой; 2 — целлюлозного полотна, пропитанного водой, с алюминиевым отражателем

Из рис. 9–10 видно, что, начиная с частоты 2 ГГц, исследуемые материалы в основном характеризуются высокой отражательной способностью в диапазоне частот 1–150 ГГц (до 11–12%), а использование металлического отражателя из алюминиевой фольги увеличивает ослабление электромагнитного сигнала до 1000 раз и более.

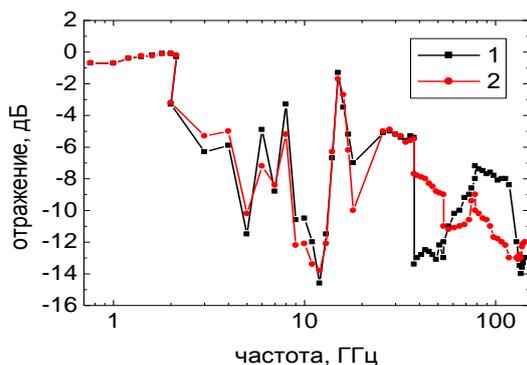


Рис. 9. Частотная зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны: 1 — экраном из двух слоев водосодержащего машинно-вязаного полотна с алюминиевым отражателем между ними; 2 — экраном из двух слоев водосодержащего машинно-вязаного полотна с алюминиевым отражателем между ними и одним алюминиевым отражателем с внешней стороны

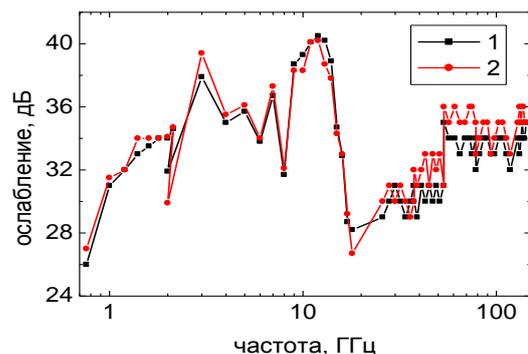


Рис. 10. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны: 1 — экраном из двух слоев водосодержащего машинно-вязаного полотна с алюминиевым отражателем между ними; 2 — экраном из двух слоев водосодержащего машинно-вязаного полотна с алюминиевым отражателем между ними и одним алюминиевым отражателем с внешней стороны

На рис. 11 приведены зависимости звукоизоляции от частоты для панелей на основе стекломгнезита, битумной мастики и алюминиевой фольги звуковой волны. Стекломагнезит 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 стекломagnesита, битумной мастики и фольги имеет индекс изоляции воздушного шума 32 дБ.

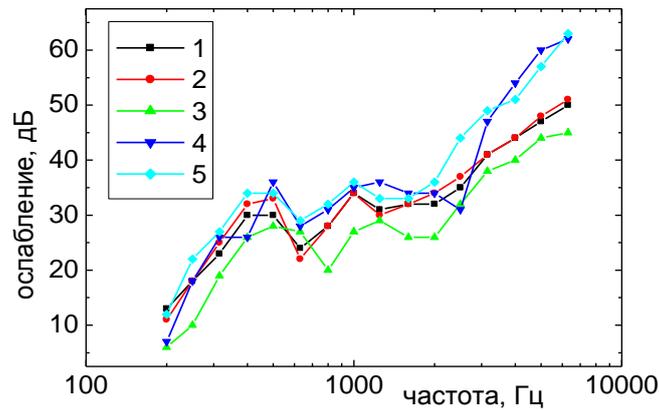


Рис. 11. Зависимость звукоизоляции от частоты: 1 — лист стекломagnesита толщиной 4 мм, слой резины толщиной 1 мм, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм; 2 — лист стекломagnesита толщиной 4 мм, демпфирующий слой битумной мастики, слой клея, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм; 3 — лист стекломagnesита толщиной 4 мм, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм на клею; 4 — сочетание вариантов 1 и 3; 5 — сочетание вариантов 2 и 3

На рис. 12 представлены характеристики ослабления и отражения ЭМИ многослойными панелями на основе стекломagnesита и слоя металла.

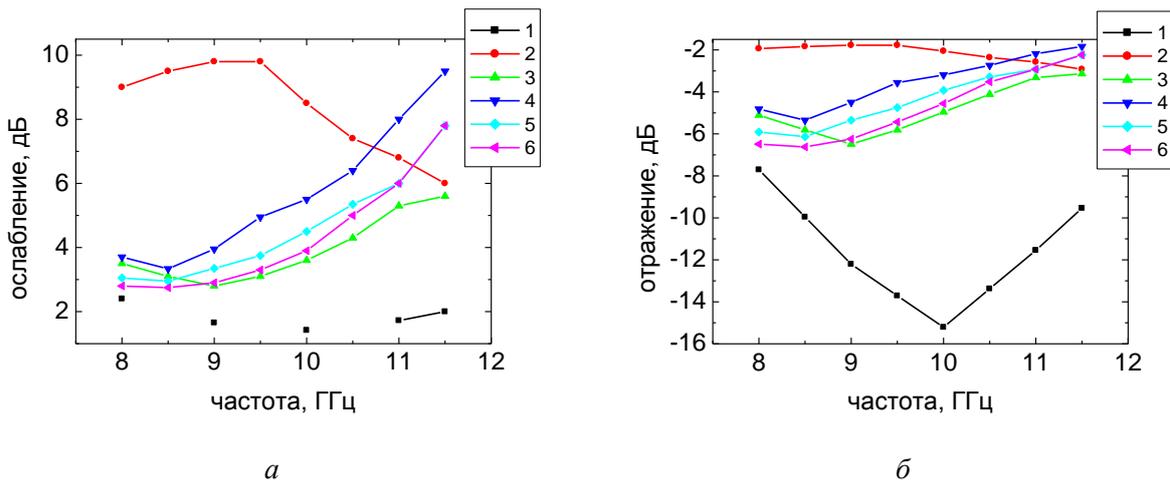


Рис. 12. Частотная зависимость ослабления электромагнитной волны конструкцией из стекломagnesитовых листов: 1 — лист стекломagnesита толщиной 4 мм, слой резины толщиной 1 мм, алюминиевая фольга толщиной ~0,2 мм; 2 — лист стекломagnesита, пропитанный водой; 3 — лист стекломagnesита с битумным герметиком; 4 — лист стекломagnesита со слоем ВаТiО₃; 5 — лист стекломagnesита со слоями силикона и силикагеля; 6 — лист стекломagnesита со слоем каучуковой мастики

Заключение

Исследованы электромагнитные и акустические характеристики материалов для создания систем интегральной защиты. Показана возможность создания многослойных материалов для защищенных помещений на основе модульных разборных конструкций, в том числе и из оптически прозрачных элементов, а также средств индивидуальной защиты.

ELECTROMAGNETIC AND ACOUSTIC PROPERTIES OF MULTILAYERED MATERIALS FOR COMPLEX SECURITY SYSTEMS

N.V. KOLBUN, S.N. PETROV, A.M. PROUDNIK

Abstract

The measurements results of the electromagnetic and acoustic properties of multilayered structures based on water-containing materials and magnesit for complex security systems are given. The creation possibility of multilayered panels with the value of electromagnetic wave attenuation over 25 dB and isolation indexes of air noise 32 dB is shown.

Литература

1. Каталог технических систем обеспечения безопасности НПЦ "НЕЛК". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nelk.ru/node/530>. Дата доступа: 15.01.2009.
2. Сафонов Ю.П., Белобородов А.А., Савченко И.В., Орлов В.П. // Конфидент. 1997. № 3. С. 57–61
3. Барсуков В.С. // Специальная техника. 2000. № 1. С. 21–28.
4. Прудник А.М., Петров С.Н., Лыньков Л.М. // Управление защитой информации. 2009. Т. 13, № 1. С. 67–70.
5. Богуш В.А., Борботько Т.В., Гусинский А.В. и др. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. Минск, 2003.