

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Республиканский конкурс научных работ студентов
высших учебных заведений Республики Беларусь

Научная секция № 27. Радиотехника, электроника и связь.

Компьютерное инженерное проектирование. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети.

Познание продолжается!

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ
ГИБКИХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ИХ ЭКРАНИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

Головатая Светлана Вячеславовна, магистрант

Позняк Александр Анатольевич,
докторант кафедры защиты информации,
доцент кафедры химии,
кандидат физико-математических наук,

Минск, 2007

Реферат

Работа 35 с., 12 рис., 10 табл., 16 источников, 4 прил.

ЭКРАНИРОВАНИЕ, ГИБКИЙ ЭКРАН, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ЭКРАНИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЙ МАТЕРИАЛ, СВЧ.

Объектом исследования являются гибкие экраны электромагнитного излучения на основе полиакрилонитрильного полотна толщиной 2 мм.

Цель работы – получение новых экспериментальных данных о влиянии природы и концентрации различных наполнителей гибких экранов электромагнитного излучения на их экранирующие характеристики в СВЧ диапазоне.

В процессе работы разрабатывались методики исследований, изготавливались экспериментальные образцы гибких экранов, проводились измерения их экранирующих характеристик, анализ и обработка полученных данных.

В результате исследования впервые были получены столь высокие экранирующие показатели при хорошей гибкости, прочности и малой толщине экрана.

Полученные данные, необходимы для дальнейших исследований, а также могут использоваться для изготовления эффективных гибких радиопоглощающих материалов и электромагнитных экранов, применяемых в областях экологической защиты живых организмов от вредного воздействия ЭМИ, защиты информации; в радиотехнике, военном деле и пр.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	5
1.1 Обоснование выбора материалов	5
1.2 Методики приготовления и исследования гибких экранов электромагнитного излучения	6
1.2.1 Методика приготовления наполнителей на основе электролитов.....	6
1.2.2 Методика приготовления гелевых и гелево-порошковых наполнителей	7
1.2.3 Методика измерения экранирующих характеристик	8
2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ ЭКРАНОВ.....	11
2.1 Растворы кислот.....	12
2.2 Растворы солей калия	13
2.3 Растворы хлоридов	14
2.4 Растворы сульфатов.....	14
2.5 Комбинированные солевые наполнители.....	15
2.6 Гелевые и гелево-порошковые наполнители	16
2.7 Высушенные образцы.....	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	22
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	34

ВВЕДЕНИЕ

Неизбежность воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) на население и окружающую живую природу стало данью современному техническому прогрессу и все более широкому применению телевидения и радиовещания, радиосвязи и радиолокации, использования сверхвысокочастотных (СВЧ) излучающих приборов и технологий и т.п. В результате жизнедеятельности человечества уровень ЭМИ возрастает на несколько порядков по сравнению с естественным фоном. Повышенные уровни электромагнитного поля (ЭМП) усложняют функционирование маломощного высокоточного измерительного оборудования, обостряют проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (РЭС) и защиты информации, оказывают отрицательное влияние на организм человека и биологические объекты.

У человека наиболее чувствительными к воздействию электромагнитных полей являются нервная, сердечно-сосудистая система, мозг. Электромагнитные поля вызывают изменения кровотока, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения. Самые опасные поля — это поля СВЧ диапазона. Сантиметровые и миллиметровые волны действуют на кожу, а дециметровые, проникая на глубину 10 – 15 см, уже напрямую воздействуют на внутренние органы.

Экранирование — наиболее эффективный способ защиты. Под экранированием в общем случае понимается как защита объектов от воздействия внешних полей, так и локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. В некоторых случаях для защиты невозможно применить экран в виде корпуса или пластины, тогда используют гибкие экраны. Особенно актуальна проблема создания гибких, мобильных, воздухопроницаемых, технологичных и дешевых материалов, обеспечивающих достаточную степень подавления ЭМИ в широком диапазоне частот.

Гибкие электромагнитные экраны находят широкое применение не только для "классических" целей подавления нежелательных излучений электронной техники, а также актуальны и в других областях, таких как экологическая защита живых организмов от вредного воздействия ЭМИ, создание одежды и накидок специального назначения, подавление электромагнитного канала утечки информации, снижение радиолокационной заметности объектов и защита устройств обработки информации от электромагнитного воздействия.

Например, различия в характеристиках электромагнитного сигнала, отраженного от объектов позволяют сделать выводы об их природе, структуре, зачастую и составе на основе анализа радиолокационного портрета некоторой области пространства. Основным средством скрытия наземных объектов от обнаружения радиолокационной техникой является установка маскирующих радиопоглощающих материалов (РПМ), позволяющих преобразовать отражаемый от металлических поверхностей и объектов сложной формы сигнал в сигнал с другими характеристиками, близкими к

фону окружающей среды. Что позволяет снизить дальность обнаружения подвижных и неподвижных радиолокационных целей в широком диапазоне частот.

Одним из перспективных направлений является создание экранов на основе гибких радиопоглощающих материалов с различными наполнителями. Но, несмотря на актуальность проблемы, эта область изучена слабо, а объем экспериментальных данных по электромагнитным характеристикам и физическим свойствам ограничен. На сегодняшний день крайне мало разработано тонких радиопоглощающих материалов и экранов ЭМИ, обладающих хорошей гибкостью, приемлемыми электромагнитными характеристиками при небольшом весе и толщине. Все это обусловило необходимость проведения исследований в этой области.

Исследования проводились в рамках госбюджетного целевого проекта Министерства образования Республики Беларусь «Влияние растворных наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения» (ГБЦ № 07-3097), в продолжение и расширение работ в области экранирования ЭМИ, ведущихся в НИЛ 5.3 БГУИР [6 – 16].

Целью работы является получение и анализ новых экспериментальных данных о влиянии природы и концентрации различных электролитов и иных наполнителей гибких экранов на их экранирующие характеристики в СВЧ диапазоне.

Достижение поставленной цели реализуется посредством решения следующих задач:

- разработка методики исследования;
- изготовление различных наполнителей, пропитка ими машинно-вязаных полотен;
- измерение и расчет экранирующих характеристик в СВЧ диапазоне полученных экспериментальных образцов;
- анализ эмпирических данных, постановка выводов и предложений по применению полученных результатов.

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Обоснование выбора материалов

В качестве капиллярно-пористой матрицы использовалось сверхуплотненное полотно толщиной 2 мм с поверхностной плотностью 1313 г/м^2 из полиакрилонитрильных волокон. Этот материал был выбран вследствие его высокой прочности и стойкости к истиранию, а также химической устойчивости и термостойкости при хорошей гибкости и небольшом удельном весе. А также потому, что конструкции поглотителей ЭМИ на основе машинно-вязаных полотен обладают рядом преимуществ по сравнению с неткаными материалами, связанными как с высокой технологичностью волокнистых материалов, так и достоинствами трикотажной технологии — гибкостью, небольшим весом, механической прочностью.

Известно, что дистиллированная вода обладает хорошим подавлением ЭМИ, поэтому предложено исследование гибких экранов с влагосодержащими наполнителями различного состава (растворами кислот, солей и гелей). Для рассмотрения вопроса о влиянии концентрации раствора на экранирующие характеристики использовались слабо (0,1 М) и сильно (1 М) насыщенные электролиты. При этом выбирались только безопасные растворы, т.к. при использовании этих экранов возможен контакт с человеком. Использование в качестве наполнителей гелей объясняется ещё и тем, что они могут выступать в качестве связующего материала для различных порошков. В свою очередь диспергирование порошков вызвано тем, что это зачастую позволяет улучшить электромагнитные характеристики.

1.2 Методики приготовления и исследования гибких экранов электромагнитного излучения

1.2.1 Методика приготовления наполнителей на основе электролитов

Известно, что ослабление энергии электромагнитной волны влагосодержащими матрицами зависит от коэффициента их влагосодержания [14], поэтому заполнение машинно-вязаных полотен производилось до полного насыщения раствором. Объем вводимого раствора рассчитывали, исходя из максимального объема воды V_{max} , поглощаемого единицей массы полотна, составляющего 1,667 мл/г.

В зависимости от необходимой концентрации пропиточного раствора, рассчитывали массу кислоты (соли) для приготовления раствора электролита объемом 250 мл, достаточного для изготовления большого количества экспериментальных образцов, исходя из формулы

$$m = C_M \cdot M \cdot 1000 / V, \quad (1.1)$$

где m – необходимая масса вещества;

M – молярная масса вещества;

V – объем раствора, равный 250 мл;

C_M – молярная концентрация раствора

С помощью технических весов с точностью до 10^{-2} г взвешивали рассчитанную массу вещества, которую растворяли в дистиллированной воде, доводя объем раствора до метки в мерной колбе 2-го кл. точности. Процесс растворения для разных веществ и для веществ разной концентрации протекал с различной скоростью, поэтому медленно растворяющиеся соединения приходилось подогревать. Для комбинированных солевых наполнителей использовали ранее приготовленные растворы солей, смешивая их в соотношении 1:1 по объему.

Для пропитки матриц использовали дистиллированную воду, 0,1 М растворы сульфосалициловой ($C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$), щавелевой ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$), малоновой ($C_3H_4O_4$), винной ($C_4H_6O_6 \cdot H_2O$), лимонной ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) и борной (H_3BO_3) кислот; 0,1 и 1 М растворы хлоридов натрия (NaCl), калия (KCl) и меди ($CuCl_2$), гексацианоферрата (III) калия ($K_3[Fe(CN)_6]$); сульфатов меди ($CuSO_4$), никеля ($NiSO_4$), марганца ($MnSO_4$), цинка ($ZnSO_4$), 0,1 и 0,4 М растворы бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$), смеси 1 М растворов солей KCl и NaCl, $NiSO_4$ и $MnSO_4$, $K_3[Fe(CN)_6]$ и KCl, $CuSO_4$ и $NiSO_4$, смесь 0,4 М раствора $K_2Cr_2O_7$ и 1 М раствора KCl.

Перед разрезанием полотна на образцы производили его стирку. Её необходимость была вызвана тем, что перед вязкой нить покрывают тонким слоем парафина для облегчения скольжения при изготовлении полотна. Такое покрытие приводило бы к ухудшению смачиваемости матрицы. Стирку осуществляли при 40°C в стиральном порошке СФ-2У, стоящем на вооружении в ВС Республики Беларусь. Выбор моющего средства был обусловлен необходимостью стандартизации процесса стирки и исключения влияния отдушек, ароматизаторов и иных добавок, вводимых в бытовые моющие средства.

После стирки и сушки при комнатной температуре полотно разрезали на квадратные матрицы (размером приблизительно 5×5 см) и взвешивали на аналитических весах с точностью до 10^{-3} г для последующего расчёта объёма пропиточной жидкости. Для расчёта использовали следующую формулу

$$v = m_o \cdot v_{max} \quad (1.2)$$

где v – объём вводимого растворного наполнителя, мл;

m_o – масса образца, г;

v_{max} – удельное влагопоглощение полотна, равное 1,667 мл/г.

С помощью мерной пипетки 2-го кл. точности набирали рассчитанный объём пропиточной жидкости и вводили в подготовленную текстильную матрицу.

Для снижения испарения жидкости с поверхности образцов и стабилизации их свойств после пропитки, производили герметизацию с использованием многослойных полиэтиленовых пленок. Стабилизацию пропитанных полотен до проведения измерений осуществляли путём выдержки герметизированных образцов при комнатной температуре не менее, чем в течение суток. За это время электролит заведомо равномерно распределялся по всему объёму капиллярной матрицы.

1.2.2 Методика приготовления гелевых и гелево-порошковых наполнителей

Для приготовления гелевых наполнителей использовали поливиниловый спирт (ПВС), желатин, картофельный крахмал, обойный клей (ОК) промышленного производства и силикат натрия ($Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$), разведённые в дистиллированной воде в указанных пропорциях (таблица 1.1).

Крахмал разводился в кипяченой дистиллированной воде путем длительного перемешивания. Обойный клей представляет собой модифицированный эфир крахмала с противогрибковой добавкой.

Таблица 1.1

Вещество	Масса вещества, г	Объем дистиллированной воды, мл
ПВС	8,8	100
Желатин	10	100
Крахмал	5	200
Обойный клей	10	250

В приготовленный гель опускали текстильную матрицу и пропитывали её в течение 20 – 30 мин, добиваясь тем самым равномерного распределения вещества в объеме и на поверхности полотна.

Гелево-порошковые наполнители получали путём добавления в ранее приготовленные гели следующих порошков: диоксида титана (TiO_2), диоксида циркония (ZrO_2), шунгита, имеющего достаточно сложный химический состав. С помощью технических весов с точностью до 10^{-2} г взвешивали 0,5 г порошка и заливали его 5 мл геля, заранее разогретого до жидкого состояния и набранного мерной пипеткой 2-го кл. точности. В приготовленную смесь опускали текстильную матрицу и пропитывали её в течение 5 – 10 мин, добиваясь при этом равномерного распределения вещества.

Для снижения испарения жидкости с поверхности образцов и стабилизации их свойств после пропитки, производили герметизацию с использованием многослойных полиэтиленовых пленок. Чтобы исключить возможность изменения физических и химических свойств полученных образцов их хранение производилось в холодильнике при 4 – 5°C. Для исследования сохранения свойств при высыхании некоторые образцы не герметизировались, а подвергались полному высушиванию в термостатированном сушильном шкафу при температуре 55°C.

1.2.3 Методика измерения экранирующих характеристик

В ходе исследований были измерены следующие экранирующие характеристики приготовленных экспериментальных гибких экранов:

S21 – коэффициент передачи, дБ;

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению;

$\text{КСВН}_{\text{отр}}$ – коэффициент стоячей волны по напряжению с отражателем (отражающей поверхностью, установленной непосредственно за исследуемым образцом). Измерение этого показателя

было вызвано необходимостью получения новых экспериментальных данных о радиопоглощающих покрытиях металлических объектов.

По полученным данным КСВН и КСВН_{отр} были рассчитаны:

S_{11} – коэффициент отражения, дБ;

$S_{11_{отр}}$ – коэффициент отражения с отражателем, дБ.

Коэффициенты передачи и отражения ЭМИ исследовали в диапазонах частот 8 – 12 и 27 – 37 ГГц. Для измерений использовались панорамные измерители коэффициентов стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления с волноводным измерительным трактом и векторные анализаторы параметров четырехполюсников. Образцы размещали внутри волновода или между рупорными антеннами после предварительной калибровки измерительного тракта на передачу и отражение.

Эффективность экранирования исследуемых конструкций экранов характеризуется ослаблением энергии ЭМИ и коэффициентом отражения электромагнитных волн от экрана.

Исследования экранов ЭМИ связаны с измерением эффективности экранирования, то есть с измерением напряженности электрической и магнитной составляющих ЭМП в одной и той же точке пространства до и после установления экрана. Допущения, связанные с пренебрежением незначительным затуханием ЭМИ 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 четырехполюсника, а для оценки эффективности экрана ЭМИ измеряется модуль коэффициента передачи в прямом направлении пассивного четырехполюсника $|S_{21}|$, равный отношению напряженности электромагнитного поля на выходе четырехполюсника к ее значению на входе:

$$S_{21} = \frac{H_2}{H_1}, \quad (1.3)$$

где H_1, H_2 – напряженности поля на входе и выходе четырехполюсника, или перед и за экраном.

При этом величина напряженности в точке за экраном уменьшается на величину затухания поля в среде распространения. Таким образом, эффективность экранирования будет определяться коэффициентом прямой передачи четырехполюсника и затуханием, вносимым свободным пространством (воздухом):

$$\dot{Y} = \frac{|\dot{I}_2|}{|\dot{I}_1| \dot{a}^{k \cdot x}} = |S_{21}| \dot{a}^{-k \cdot x}, \quad (1.4)$$

При допущениях того, что коэффициент затухания в свободном пространстве k'' 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 четырехполюсника.

Для исследования экранирующих характеристик созданных образцов экранов ЭМИ использовались панорамные измерители КСВН и ослабления (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Оборудование для исследования экранирующих характеристик образцов

Диапазон частот, ГГц	8 – 12	27 – 37
Используемое оборудование	ГКЧ-61, Я2Р-67	Р2-65 (с ГКЧ)
Сечение волноводного тракта, мм		7,2×3,4
Диапазон измерения ослабления, дБ	-35...0	-35...0
Погрешность измерения ослабления, дБ	±(0,5+0,05А)	±(0,5+0,05А)
Диапазон измерения КСВН	1,06...5,0	1,06...5,0
Погрешность измерения КСВН, %	$\frac{\pm(5 \cdot \text{КСВН} + 2)}{100 - [\pm(5 \cdot \text{КСВН} + 2)] \frac{\text{КСВН}}{\text{КСВН} + 1}} \cdot 100$	
– в диапазоне значений 1,2...2,0		
– в диапазоне значений 2,0...5,0		

Панорамный измеритель КСВН и ослабления работает по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. Сигнал, пропорциональный мощности, падающей на нагрузку, выделяется направленным детектором падающей волны ($ДН_{пад}$). Ослабление, вносимое исследуемым образцом, определяется отношением сигналов, выделяемых $ДН_{отр}$ и $ДН_{пад}$ (рисунок 1.1). Сигнал, отраженный от исследуемой нагрузки, выделяется направленным детектором отраженной волны ($ДН_{отр}$) (рисунок 1.2).

Коэффициент отражения определяется как:

$$\Gamma = \sqrt{\frac{U_{отр}}{U_{пад}}}, \quad (1.5)$$

где Γ – модуль коэффициента отражения ЭМВ по напряжению;

$U_{отр}$, $U_{пад}$ – амплитуды протектированного напряжения отраженной и падающей волн.

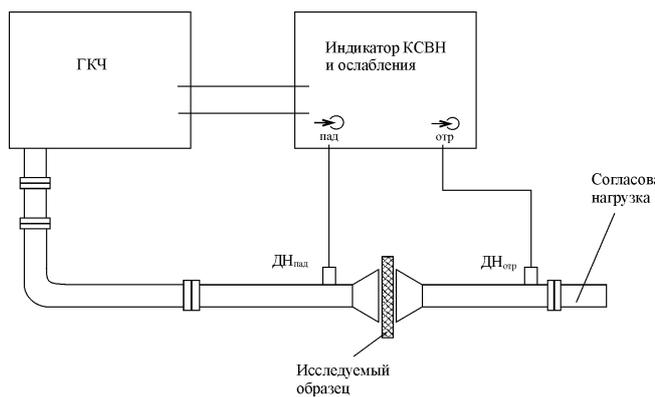


Рисунок 1.1 Схема измерения ослабления, вносимого исследуемым образцом

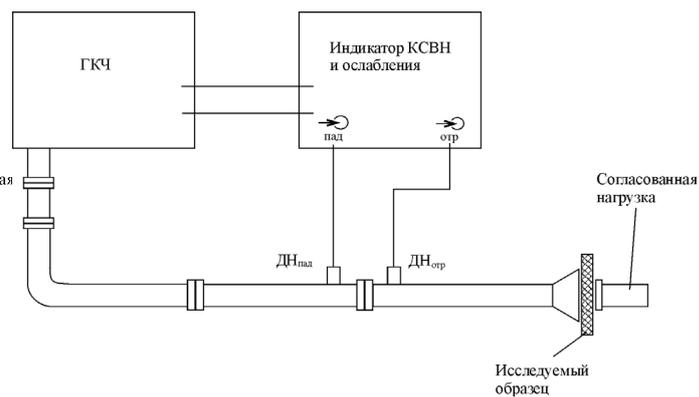


Рисунок 1.2 Схема измерения КСВН исследуемых образцов

Чаще всего из практических соображений для оценки величины отражаемой энергии используют коэффициент отражения (S_{11}), выраженный в децибелах, который связан с коэффициентом стоячей волны по напряжению соотношением:

$$S_{11} = 20 \cdot \lg \left(\frac{(КСВН-1)}{(КСВН+1)} \right) \quad (1.6)$$

Исследования проводились в панорамном режиме измерения КСВН и ослабления. Калибровка приборов осуществлялась во всем рабочем диапазоне частот по стандартной методике после установки диапазона качания частоты и уровня падающей мощности. В качестве излучателя и приемника сигнала в диапазоне 27 ГГц использовались рупорные антенны. При измерении в диапазоне частот 8 – 12 ГГц образец зажимался между фланцами волноводов, такой способ при малой толщине образца принимался эквивалентным использованию измерительной ячейки.

Для измерения КСВН с отражающей поверхностью ($КСВН_{отр}$) непосредственно за исследуемым образцом устанавливали металлическую пластину.

Для расчета коэффициента отражения с отражающей поверхностью ($S_{11_{отр}}$), выраженного в децибелах пользовались следующей формулой

$$S_{11_{отр}} = 20 \cdot \lg \left(\frac{(КСВН_{отр}-1)}{(КСВН_{отр}+1)} \right) \quad (1.7)$$

2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ ЭКРАНОВ

В общей сложности было приготовлено и исследовано 58 экспериментальных образцов. Из них шесть текстильных матриц с кислотными наполнителями, 19 – с солевыми, пять – с комбинированными солевыми наполнителями, четыре – с гелевыми, 12 – с гелево-порошковыми наполните-

лями и 10 высушенных образцов. Также были сняты экранирующие характеристики текстильной матрицы без какого-либо наполнителя и образца, наполненного дистиллированной водой.

Исследования образцов с электролитными наполнителями проводились в диапазонах частот 8 – 11 и 27 – 36 ГГц, образцов с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями, а также высушенных образцов – на частотах 8 – 12 ГГц.

В зависимости от экранирующих свойств различают ослабляющие и поглощающие гибкие экраны ЭМИ. Наилучшим ослабляющим экраном является тот, у которого коэффициент передачи (S_{21}) минимален, а наилучшим поглощающим является материал с наиболее низкими коэффициентами отражения и передачи. В некоторых случаях, например для снижения радиолокационной заметности цели, необходимо уменьшить отражение электромагнитных волн (ЭМВ) от металлического объекта, тогда наиболее эффективным будет применение маскирующего покрытия из материала с минимальным коэффициентом отражения с отражающей поверхностью ($S_{11_{отр}}$).

Рассмотрим влияние природы и концентрации наполнителя на экранирующие характеристики.

2.1 Растворы кислот

Для пропитки текстильных матриц использовали 0,1 М растворы сульфосалициловой (ССК), щавелевой (ЩК), малоновой (МК), винной (ВК), лимонной (ЛК) и борной кислот (БК). Поскольку вода сама по себе обладает неплохими экранирующими характеристиками, то в качестве образца сравнения для раствородержащих матриц был приготовлен экспериментальный образец, наполненный дистиллированной водой.

Полученные результаты КСВН, коэффициентов отражения и передачи в частотном диапазоне 8 – 11 ГГц приводятся в таблице П. 1.1. Из данной таблицы можно сделать следующие выводы: коэффициент передачи увеличивается с увеличением частоты; КСВН и коэффициент отражения уменьшаются с увеличением частоты.

В таблице П. 1.2 приводятся результаты измерений КСВН, коэффициентов отражения и передачи в частотном диапазоне 27 – 36 ГГц. Из данной таблицы видно, что коэффициент передачи уменьшается с увеличением частоты; КСВН и коэффициент отражения увеличиваются с ростом частоты от 27 до 30 ГГц, а затем уменьшается с увеличением частоты до 36 ГГц.

По вышеуказанным таблицам построены графики зависимостей коэффициентов отражения и передачи для кислот в различных частотных диапазонах (рисунок П. 1.1).

В диапазоне от 8 до 11 ГГц в качестве радиопоглощающего экрана наилучшим из рассмотренных является образец, пропитанный 0,1 М раствором ССК (S_{11} до минус 4,6 дБ, S_{21} до минус 14,4 дБ). Однако разница между свойствами гибких экранов на основе волокнистых матриц, пропитанных дистиллированной водой и разбавленными растворами кислот невелика (в пределах 8%), что объясняется доминирующим влиянием растворителя, обладающим высоким коэффициентом подавления ЭМИ (см. рисунок П. 1.1 а, б).

В диапазоне 27 – 36 ГГц текстильные матрицы, пропитанные растворами кислот, имеют значительно большее отражение и меньший коэффициент передачи, чем водонаполненный образец, что, по-видимому, связано с более высокой электропроводностью полученных покрытий, обусловленной электролитической диссоциацией и появлением в растворном наполнителе гидратированных ионов водорода, обладающих высокой подвижностью. Здесь наибольшее ослабление ЭМИ показали текстильные матрицы, пропитанные ССК и ЛК (S21 до минус 32 дБ) (см. рисунок П. 1.1 в, г).

2.2 Растворы солей калия

Для пропитки текстильных матриц использовали водные 1,0 М и 0,1 М растворы хлорида калия; 0,4 М и 0,1 М растворы бихромата калия; 1,0 М и 0,1 М растворы гексацианоферрата калия.

Полученные результаты КСВН, коэффициентов отражения и передачи для образцов с соевыми наполнителями в частотном диапазоне 8 – 11 ГГц приводятся в таблице П. 2.1, в частотном диапазоне 27 – 36 ГГц – в таблице П. 2.2. По выше указанным таблицам построены графики зависимостей коэффициентов отражения и передачи в различных частотных диапазонах для образцов, пропитанных растворами солей калия (рисунок П. 2.1).

Из рисунка видно, что в диапазоне от 8 до 11 ГГц коэффициент передачи (S21) всех образцов, наполненных солями калия, меньше, чем образца сравнения. При этом замечено, что коэффициент передачи снижается с ростом концентрации раствора (см. рисунок П. 2.1 а). Из вышесказанного следует, что добавление в дистиллированную воду солей калия благотворно сказывается на ослаблении ЭМИ при использовании этих растворов в качестве наполнителей гибких текстильных экранов.

Коэффициент отражения (S11) исследуемых образцов в этом диапазоне частот немного выше по сравнению с водонаполненным, за исключением текстильной матрицы, пропитанной 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$. Этот образец показал значительно более хорошие радиопоглощающие и ослабляющие свойства, чем образец сравнения. Коэффициент передачи на 31% больше, чем образца, пропитанного дистиллированной водой, при равных коэффициентах отражения (S21 до минус 17,8 дБ, S11 до минус 4,4 дБ). Концентрация растворов на коэффициент отражения влияет слабо, за исключением гексацианоферрата (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$, более насыщенный раствор которого дает на 0,6 дБ меньший коэффициент отражения (см. рисунок П. 2.1 б).

На более высоких частотах (26 – 37 ГГц) разницы между коэффициентами передачи более и менее насыщенных растворов практически не наблюдается. Минимальный коэффициент передачи имеет образец, пропитанный 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$ (S21 до минус 31 дБ). В качестве поглощающего ЭМИ материала в этом диапазоне лучшим оказался водонаполненный образец, т.к. материалы с соевыми растворами калия имеют значительно большее отражение. Причем, чем больше концентрация раствора, тем больше коэффициент отражения.

2.3 Растворы хлоридов

Графики зависимостей коэффициентов отражения и передачи для хлоридов в различных частотных диапазонах показаны на рисунке П. 2.2. Для исследования использовались 1,0 М и 0,1 М растворы хлорида натрия, хлорида калия и хлорида меди.

Анализ графиков показывает, что в диапазоне 8 – 11 ГГц коэффициент передачи (S21) текстильных матриц, пропитанных 0,1 М растворами хлоридов незначительно меньше коэффициента передачи образца сравнения. С ростом концентрации растворов коэффициент передачи существенно снижается (см. рисунок П. 2.2 а). Наилучшими ослабляющими ЭМИ материалами здесь оказались образцы с 1 М растворами хлоридов меди и калия (S21 до минус 15,9 дБ).

Такой же коэффициент отражения, как и у водонаполненного образца, показали текстильные матрицы с 0,1 и 1 М растворами хлорида меди, а остальные хлоридсодержащие матрицы имеют больший коэффициент отражения. А значит, наилучшим радиопоглощающим материалом из рассмотренных является волокно, пропитанное 1 М раствором хлорида меди, т.к. этот образец имеет наиболее низкий коэффициент передачи (см. рисунок П. 2.2 б).

В диапазоне частот 27 – 36 ГГц коэффициент передачи всех образцов ниже, чем водонаполненного, только у текстильной матрицы с 0,1 М раствором хлорида натрия коэффициент передачи больше приблизительно на 1,7 дБ и существенно больше, чем коэффициенты передачи остальных образцов с 0,1 М растворами хлоридов (см. рисунок П. 2.2 в). Наиболее сильное ослабление из представленных образцов имеет текстильная матрица с 0,1 М раствором хлорида калия (S21 до минус 31 дБ).

Самым лучшим радиопоглощающим материалом в этом диапазоне оказалась текстильная матрица, пропитанная дистиллированной водой. По влиянию концентрации растворов наполнителей на коэффициент отражения можно сказать, что ее увеличение в одних случаях (при наполнителях KCl и NaCl) ведет к усилению отражения ЭМВ, а в других (при наполнителе CuCl₂) – к его уменьшению (см. рисунок П. 2.2 г).

2.4 Растворы сульфатов

Графики зависимостей коэффициентов отражения и передачи в различных частотных диапазонах для сульфатонаполненных образцов показаны на рисунке П. 2.3. В эксперименте использовали 1,0 М и 0,1 М растворы сульфата марганца, сульфата никеля, сульфата меди и сульфата цинка.

Анализ экспериментальных зависимостей показывает, что в диапазоне 8 – 11 ГГц увеличение концентрации наполнителя ведет к существенному уменьшению коэффициента передачи (см. рисунок П. 2.3 а). Наибольшее ослабление показал образец, наполненный 1 М раствором сульфата цинка (S21 до минус 15 дБ). В то же время его коэффициент отражения немного меньше коэффициента отражения образца сравнения (см. рисунок П. 2.3 б). Из вышесказанного следует, что в качестве наполнителя радиопоглощающего материала на этих частотах более эффективен будет 1 М

раствор сульфата цинка, чем дистиллированная вода. Во влиянии концентрации растворов наполнителей на коэффициент отражения закономерности не наблюдается.

В частотном диапазоне 27 – 36 ГГц коэффициенты передачи 0,1 М растворов существенно ниже коэффициента передачи дистиллированной воды, а 1 М растворов – приблизительно равны (см. рисунок П. 2.3 в). Наибольшее ослабление показал образец, наполненный 0,1 М раствором сульфата никеля (S21 до минус 33 дБ).

Коэффициент отражения меньший, чем у водонаполненной матрицы имеет только образец с 1 М раствором сульфата цинка, но его коэффициент передачи несколько больше водного, поэтому эффективность радиопоглощения сравниваемых образцов приблизительно равна. Все остальные экспериментальные экраны имеют значительно большее отражение. Также можно отметить, что увеличение концентрации сульфатных растворов в рассмотренных случаях приводит к уменьшению отражения (см. рисунок П. 2.3 г).

В результате выполнения исследований экспериментальных образцов гибких экранов ЭМИ с электролитными наполнителями видно, что разбавленные растворы кислот и солей по своим свойствам слабо отличаются от воды; т.е. на подавление ЭМИ большое влияние оказывает растворитель (дистиллированная вода), который обладает высоким поглощением ЭМИ. Лишь при достаточно концентрированных растворах, не менее 1,0 М, речь может идти о различиях в коэффициентах передачи и отражения ЭМИ между водой и исследованными растворами.

2.5 Комбинированные солевые наполнители

При проведении опыта в качестве наполнителя текстильной матрицы использовались смеси следующих 1 М растворов солей: KCl и NaCl, NiSO₄ и MnSO₄, K₃[Fe(CN)₆] и KCl, CuSO₄ и NiSO₄; а также смесь 0,4 М раствора K₂Cr₂O₇ и 1 М раствора KCl. Исследование экранирующих характеристик этих образцов проводилось в диапазоне частот 27 – 36 ГГц. Графики зависимостей коэффициентов отражения и передачи для образцов с комбинированными солевыми наполнителями на частотах 27 – 36 ГГц показаны на рисунке П. 2.4.

Анализ экспериментальных зависимостей показывает, что в диапазоне 27 – 37 ГГц наименьшим коэффициентом передачи обладает образец с наполнителем из смеси 0,4 М раствора бихромата калия и 1 М раствора хлорида калия (S21 до минус 31,4 дБ). Но ни один из рассмотренных образцов не показал меньшего отражения, чем водонаполненный.

При анализе таблицы П. 2.2 обнаружено, что наполнители из смеси растворов в основном хуже ослабляют ЭМИ, чем растворы, из которых они получены, за исключением смеси 0,4 М раствора K₂Cr₂O₇ и 1 М раствора KCl. Эта смесь ослабляет ЭМИ лучше, чем составляющие её растворы. На отражении ЭМИ смешивание электролитов отразилось слабо, коэффициент отражения остался хуже, чем водный.

2.6 Гелевые и гелево-порошковые наполнители

В качестве наполнителя и связующего вещества использовали ПВС, желатин, крахмал и ОК, разведённые в дистиллированной воде в пропорциях, указанных в таблице 1.1, а в качестве порошков – диоксид титана (TiO_2), диоксид циркония (ZrO_2) и шунгит. Приготовленные образцы исследовались в диапазоне частот 8 – 12 ГГц. Кроме КСВН и коэффициента передачи снимались также показания КСВН с отражателем, установленным непосредственно за исследуемым образцом (КСВН_{отр}). Измерение этого показателя было вызвано необходимостью получения новых экспериментальных данных о радиопоглощающих покрытиях металлических объектов.

Полученные результаты КСВН, коэффициентов отражения и передачи для образцов с гелевыми наполнителями в частотном диапазоне 8 – 12 ГГц приводятся в таблице П. 3.1. По этой таблице построены графики зависимостей коэффициентов отражения и передачи (рисунок П. 3.1).

Коэффициенты передачи геленаполненных текстильных матриц и водонаполненного образца сравнимы по величине. Наилучшее ослабление ЭМИ показал образец с наполнителем из обойного клея (S21 до минус 15 дБ). Однако при использовании гелей в качестве наполнителей гибких экранов резко повышается коэффициент отражения (рисунок П. 3.1 а, б). Поэтому, как поглощающие ЭМИ материалы они не эффективны.

Коэффициент отражения с отражающей поверхностью у образцов с различными гелями сильно отличается. Так, желатин и ПВС имеют коэффициент отражения с отражающей поверхностью, равный в среднем минус 4,8 дБ, а крахмал и ОК – гораздо больший, минус 2,3 дБ (см рисунок П. 3.1 в). Наименьшее отражение при экранировании металлической поверхности в этом диапазоне показал образец, пропитанный ПВС (S11_{отр} до минус 5,6 дБ).

Полученные результаты КСВН, коэффициентов отражения и передачи для образцов с гелево-порошковыми наполнителями в частотном диапазоне 8 – 12 ГГц приводятся в таблице П. 3.2. Рассмотрим, как влияет добавление порошка в гелевые наполнители гибких экранов на их экранирующие характеристики.

Добавление в желатиновый наполнитель порошка диоксида циркония практически не повлияло на коэффициент передачи, а диоксида титана и шунгита – привело к его резкому снижению. А на отражение, наоборот, – добавление порошков диоксида титана и шунгита никак не сказалось, а диоксида циркония – резко снизило коэффициент отражения ЭМИ. Шунгит и диоксид титана, добавленные в желатиновый наполнитель экспериментальных образцов, уменьшают поглощение ЭМИ экраном, закрывающим металлическую поверхность, а диоксид циркония, наоборот, – увеличивает (рисунок П. 3.2).

Добавление в ПВС порошка диоксида циркония существенно не изменяет эффективность экранирования, а диоксида титана и шунгита – повышает. При этом независимо от добавленного порошка снижается отражение ЭМИ от экрана. Шунгит, добавленный в ПВС, увеличивает отраже-

ние ЭМИ экраном, закрывающим металлическую поверхность, диоксид циркония, наоборот, – уменьшает, а диоксид титана практически не сказывается на коэффициенте отражения с отражающей поверхностью (рисунок П. 3.3).

Добавление порошков в крахмальный наполнитель гибких экранов снижает их коэффициент передачи, а на коэффициент отражения ни как не влияет. Диоксид циркония и шунгит, добавленные в крахмал, увеличивают отражение ЭМИ экраном, закрывающим металлическую поверхность, диоксид титана, наоборот, – уменьшает (рисунок П. 3.4).

Добавление в ОК порошков диоксида циркония и диоксида титана приводит к значительному уменьшению эффективности экранирования, а шунгита – к увеличению. При этом на отражение ЭМИ экспериментальными образцами это практически не влияет. Коэффициент отражения с отражателем при добавлении в гелевый наполнитель порошков диоксида титана и диоксида циркония уменьшается в 2 и 3 раза соответственно, а при добавлении шунгита эта характеристика ухудшается (рисунок П. 3.5).

Рассмотрим, как влияет вид порошка на экранирующие характеристики экспериментальных образцов, в состав которых он входит.

Коэффициент отражения от вида порошка, добавляемого в гелевый наполнитель, практически не зависит. Существенного снижения коэффициента передачи можно добиться, используя в качестве наполнителей смесь геля с шунгитом (S_{21} до минус 16 дБ). Использование смеси диоксида циркония со всеми рассмотренными гелями, кроме крахмала, позволяет достичь низких значений коэффициента отражения с отражающей поверхностью ($S_{11_{отр}}$ до минус 8 дБ).

В итоге вышесказанного следует отметить:

1. В диапазоне 8 – 12 ГГц наилучшим ослаблением ЭМИ обладают экспериментальные образцы, наполненные смесью шунгита и ОК (S_{21} до минус 17,5 дБ), а также смесью диоксида циркония и крахмала (S_{21} до минус 17,8 дБ);

2. Как радиопоглощающие материалы образцы с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями эффективны только при экранировании металлического объекта. Наименьший коэффициент отражения с отражающей поверхностью имеет текстильная матрица, наполненная смесью порошка диоксида циркония и желатина ($S_{11_{отр}}$ до минус 8 дБ).

3. Четкой зависимости электромагнитных характеристик от вида порошка и от вида геля не наблюдается.

2.7 Высушенные образцы

Для проверки влияния влагосодержания на экранирующие характеристики гибких экранов были приготовлены высушенные экспериментальные образцы по методике, описанной в пункте 1.2.2 настоящей работы. В качестве образца сравнения использовалась текстильная матрица без напол-

нителя. Полученные данные по экранирующим характеристикам высушенных образцов частотного диапазона 8 – 12 ГГц представлены в таблице П. 4.1

Анализ показывает, что экранирующие свойства образцов при высыхании не сохраняются, что обусловлено определяющим влиянием воды на подавление ЭМИ. Резко увеличивается коэффициент передачи ЭМИ и становится даже большим, чем у текстильной матрицы без какого-либо наполнителя. Это говорит о том, что сухой наполнитель выступает в качестве проводящего ЭМИ материала. Коэффициент отражения у всех образцов очень мал и не представляет интереса.

Особое внимание нужно уделить показателям отражения образцов, стоящих на пути распространения ЭМВ непосредственно перед металлической поверхностью (рисунок П. 4.1). По полученным данным коэффициентов отражения с отражающей поверхностью влагонаполненных и сухих образцов составлена таблица 2.1, из которой хорошо видно как изменяется этот показатель при полном высыхании экспериментального образца (в таблице приведены усредненные по частоте значения $S_{11_{отр}}$).

Таблица 2.1

Наполнитель		ПВС			Крахмал		Желатин			Обойный клей	
		TiO ₂	ZrO ₂	Шунгит	TiO ₂	Шунгит	TiO ₂	ZrO ₂	Шунгит	без до- бавок	Шунгит
$S_{11_{отр}}$	влажгонапол- ненный	-4,5	-5,6	-2,9	-3,2	-1,9	-2,8	-7,0	-2,4	-2,1	-1,6
	сухой	-5,2	-6,1	-4,3	-4,3	-5,0	-4,2	-4,1	-4,0	-3,6	-4,6

Из таблицы 2.1 видно, что высушенные образцы с наполнителями на основе гелей имеют более низкие коэффициенты отражения с отражающей поверхностью ($S_{11_{отр}}$), чем аналогичные образцы, не подвергавшиеся высушиванию и чем текстильная матрица без наполнителя. Исключением лишь стал образец с наполнителем из смеси желатина и диоксида циркония, который во влагонаполненном состоянии показал наибольшее поглощение ($S_{11_{отр}}$ до минус 8 дБ). А из сухих образцов самое низкое отражение имеет текстильная матрица с наполнителем из смеси диоксида циркония и ПВС ($S_{11_{отр}}$ до минус 6,9 дБ). Из вышесказанного можно сделать вывод, что в качестве радиопоглощающих покрытий для металлических объектов в исследуемом диапазоне частот наиболее перспективны именно сухие композиционные материалы. Также следует отметить, что высушенные образцы практически не потеряли своей гибкости и цельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема исследования и разработки новых материалов гибких и мобильных электромагнитных экранов с повышенной эффективностью весьма актуальна, особенно в настоящее время, когда электромагнитные ресурсы широко используются во всех сферах жизнедеятельности человека. Обостряются проблемы экологической защиты живых организмов от ЭМИ, обеспечения защиты информации, радиомаскировки объектов и др.

Цель исследования состояла в получении новых экспериментальных данных о влиянии природы и концентрации различных неисследованных ранее наполнителей (растворов кислот и солей, гелей и гелей в сочетании с различными порошками) гибких экранов ЭМИ на их экранирующие характеристики в СВЧ диапазоне и была достигнута путем успешного решения всех поставленных в работе задач.

В результате можно сформулировать следующие выводы:

- разбавленные растворы кислот и солей по своим свойствам слабо отличаются от воды; т.е. на подавление ЭМИ большое влияние оказывает растворитель (дистиллированная вода), который обладает высоким поглощением ЭМИ;
- гибкие экраны с наполнителями из различных солевых растворов в диапазоне частот 27 – 36 ГГц имеют лучший коэффициент передачи ЭМИ, чем гибкие экраны с наполнителями на основе их комбинаций;
- гибкие экраны с гелево-порошковыми наполнителями в основном имеют значительно меньшие (т.е. лучшие) коэффициенты передачи и отражения относительно гибких экранов с гелевыми наполнителями (в диапазоне частот 8 – 12 ГГц);
- как радиопоглощающие материалы образцы с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями эффективны только при экранировании металлического объекта;
- высушенные образцы с наполнителями на основе гелей имеют более низкие коэффициенты отражения с отражающей поверхностью в диапазоне частот 8 – 12 ГГц, чем аналогичные образцы, не подвергавшиеся высушиванию и чем текстильная матрица без наполнителя. А значит, в качестве радиопоглощающих покрытий для металлических объектов наиболее перспективны именно сухие композиционные материалы. Также следует отметить, что высушенные образцы практически не потеряли своей гибкости и цельности.

Далее приведены самые эффективные из исследованных гибкие экраны ЭМИ на основе полиакрилонитрильного полотна толщиной 2 мм с различными наполнителями.

1) Наилучшие поглощающие ЭМИ материалы:

- наполнитель – 1 М раствор гексацианоферрата (III) калия, коэффициент передачи до минус 17,8 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,4 дБ в диапазоне 8 – 11 ГГц;

- в диапазоне частот 27 – 36 ГГц наилучшим радиопоглотителем является образец, пропитанный дистиллированной водой, коэффициент передачи до минус 29,3 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,3 дБ.

2) Наилучшие ослабляющие ЭМИ материалы:

- наполнитель – 1 М раствор гексацианоферрата (III) калия, коэффициент передачи до минус 17,8 дБ в диапазоне 8 – 11 ГГц, до минус 31 дБ в диапазоне 27 – 36 ГГц;
- наполнитель – 0,1 М раствор сульфата никеля, коэффициент передачи до минус 33 дБ в диапазоне 27 – 36 ГГц, до минус 14,2 дБ в диапазоне 8 – 11 ГГц.

3) Наилучшие маскирующие радиопоглощающие покрытия металлических объектов в диапазоне частот 8 – 12 ГГц:

- наполнитель – смесь желатина с порошком диоксида циркония, коэффициент отражения с отражателем до минус 8 дБ;
- сухой наполнитель – смесь ПВС с порошком диоксида циркония, коэффициент отражения с отражателем до минус 6,9 дБ.

В работе удалось достигнуть высоких показателей экранирования ЭМИ гибкими и тонкими материалами. Которые по сравнению с аналогичными по толщине экранами из трикотажных полотен с металлическими нитями имеют преимущество в поглощении ЭМИ (у последних в диапазоне 8 – 12 ГГц коэффициент передачи достигает только минус 9 дБ при коэффициенте отражения до минус 6 дБ [6, с.280]), имеют меньшую удельную массу, а также значительно проще и дешевле в изготовлении, что обуславливает технико-экономическую эффективность их внедрения. Все это говорит о высоком научно-техническом уровне выполнения работы.

Полученные данные, необходимы для дальнейших исследований в области экранирования. Также эти результаты могут использоваться для изготовления гибких электромагнитных экранов, применяемых в различных сферах:

- в военной области для снижения радиолокационной заметности объектов и повышения их помехозащищенности;
- в области экологической защиты живых организмов от вредного воздействия ЭМИ путем создания специальной одежды, накидок, СИЗ;
- в области защиты информации для подавления электромагнитного канала утечки информации;
- для защиты устройств обработки от электромагнитного воздействия;
- в измерительной и контрольной аппаратуре;
- в других областях науки и техники.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 33 «Об утверждении правил проведения республиканского конкурса научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь» от 24 мая 2004 г
2. ГОСТ 2.105-95. Межгосударственный стандарт ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – Введ. 01.01.1997. – М.: Стандартиформ, 2005.
3. US Patent and Trademark Office (<http://www.uspto.gov/patft/index.html>).
4. Международное патентное бюро ЕПО - European Patent Office (<http://ep.espacenet.com/>).
5. Российское агентство по патентам и товарным знакам (<http://www.fips.ru/russite>)
6. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В. А. Богуш [и др.]; под общ. ред. Л. М. Лынькова. – Минск : Бестпринт, 2003.
7. Поглотители электромагнитного излучения. Применение в вооруженных силах : монография / Т. В. Борботько [и др.] ; под. ред. Л. М. Лынькова. – Минск : Бестпринт, 2006.
8. Пат. 1119 Республика Беларусь, МПК Н 01Q 17/00. Поглотитель электромагнитного излучения / Л. М. Лыньков, Т. В. Борботько, Н. В. Колбун / УО Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. u20030142, заявл. 04.04.2003; опубл. в АБ №4, 2003 г.
9. Пат. 1516 РБ, МПК Н 01 Q 17/00. Поглотитель электромагнитного излучения / Л. М. Лыньков, Т. В. Борботько, Н. В. Колбун — №u20040015, заявл. 14.01.2004; опубл. 30.09.2003. Официальный бюллетень. №3. — 2004. – С.267
10. Гибкие сетчатые экраны, изготовленные машинно-вязаным способом / Л. М. Лыньков [и др.] // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. – № 1(11)/3. – С.140–142.
11. Радиозащитные материалы на основе металлических кластеров в полимерных матрицах / Л. М. Лыньков [и др.] // Материалы, технологии, инструмент. – 1998. – Т.3, № 2. – С. 61.
12. Никельсодержащие тонкопленочные покрытия на волокнистых материалах / Л. М. Лыньков [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, № 15. – С. 55 – 60.
13. Колбун, Н. В., Кореневский, С. А., Колбун, В. С. Измерение характеристик экранирующих материалов в СВЧ-диапазоне // Современные средства связи: Материалы IX Международной науч.-техн. конф., Нарочь, 2004 г. – Т.2. – Минск, 2004. – С.155-157.
14. Колбун, Н. В., Лыньков. Л. М., Терех, И. С. Влияние влагосодержания на экранирующие свойства поглотителей электромагнитного излучения // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. матер. III МНТК. В 2-х томах. Т.1. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – 316 с. С. 65–67.
15. Головатая С. В., Зубаревич О. И., Позняк А. А. Гибкие текстильные экраны электромагнитного излучения с гелевыми наполнителями // Технические средства защиты информации: Материалы докладов и краткие сообщения V Белорусско-российской науч.-техн. конф., 28 мая – 1 июня 2007 г., Мн.: БГУИР, 2007. – С. 73 - 74
16. Головатая С. В., Зубаревич О. И., Позняк А. А. Экранирующие свойства текстильных матриц с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями // 17-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2007). Севастополь, 10-14 сентября 2007 г.: Материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2007. - С.763-764.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Экранирующие характеристики экспериментальных образцов с кислотными наполнителями

Таблица П. 1.1 – Экранирующие характеристики образцов с кислотными наполнителями в частотном диапазоне 8 – 11 ГГц

Концентрация, М	Наполнитель	S21, дБ				КСВН				S11, дБ			
		f, ГГц				f, ГГц				f, ГГц			
		8	9	10	11	8	9	10	11	8	9	10	11
–	H ₂ O	-13,8	-13,5	-13,0	-12,6	4,7	4,9	4,5	4,0	-3,8	-3,6	-4,0	-4,5
0,1	ЩК	-14,0	-13,7	-13,2	-13,0	5,1	5,1	4,8	4,3	-3,5	-3,5	-3,7	-4,1
0,1	ВК	-14,2	-13,8	-13,2	-12,8	4,8	5,0	4,5	4,1	-3,7	-3,6	-3,9	-4,4
0,1	ССК	-14,4	-14,1	-13,6	-13,3	4,6	4,7	4,4	3,9	-3,8	-3,8	-4,0	-4,6
0,1	ЛК	-13,9	-13,5	-12,9	-12,6	5,0	5,2	4,7	4,2	-3,5	-3,4	-3,8	-4,3
0,1	МК	-14,0	-13,7	-13,0	-12,6	5,0	5,2	4,9	4,4	-3,5	-3,4	-3,6	-4,0
0,1	БК	-13,8	-13,5	-13,0	-12,6	4,7	4,9	4,45	3,9	-3,8	-3,6	-4,0	-4,6

Таблица П. 1.2 – Экранирующие характеристики образцов с кислотными наполнителями в частотном диапазоне 27 – 36 ГГц

Концентрация, М	Наполнитель	S21, дБ				КСВН				S11, дБ			
		f, ГГц				f, ГГц				f, ГГц			
		27	30	33	36	27	30	33	36	27	30	33	36
-	H ₂ O	-26,8	-26,8	-28,3	-29,3	4,2	4,4	4,3	4,15	-4,2	-4,0	-4,1	-4,3
0,1	ЩК	-28,0	-28,0	-29,0	-30,2	5,9	6,3	6,1	6,1	-3,0	-2,8	-2,9	-2,9
0,1	ВК	-27,7	-27,7	-28,6	-30,0	6,0	6,5	6,6	6,6	-2,9	-2,7	-2,7	-2,7
0,1	ССК	-29,3	-29,3	-30,8	-32,0	4,7	5,2	4,7	4,8	-3,8	-3,4	-3,8	-3,7
0,1	ЛК	-29,4	-29,4	-30,7	-32,0	5,4	5,8	5,3	5,3	-3,3	-3,0	-3,3	-3,3
0,1	МК	-27,8	-27,8	-28,8	-30,4	4,4	4,7	4,4	4,3	-4,0	-3,8	-4,0	-4,1
0,1	БК	-28,4	-28,4	-29,9	-31,1	5,5	5,8	6,0	6,0	-3,2	-3,0	-2,9	-2,9

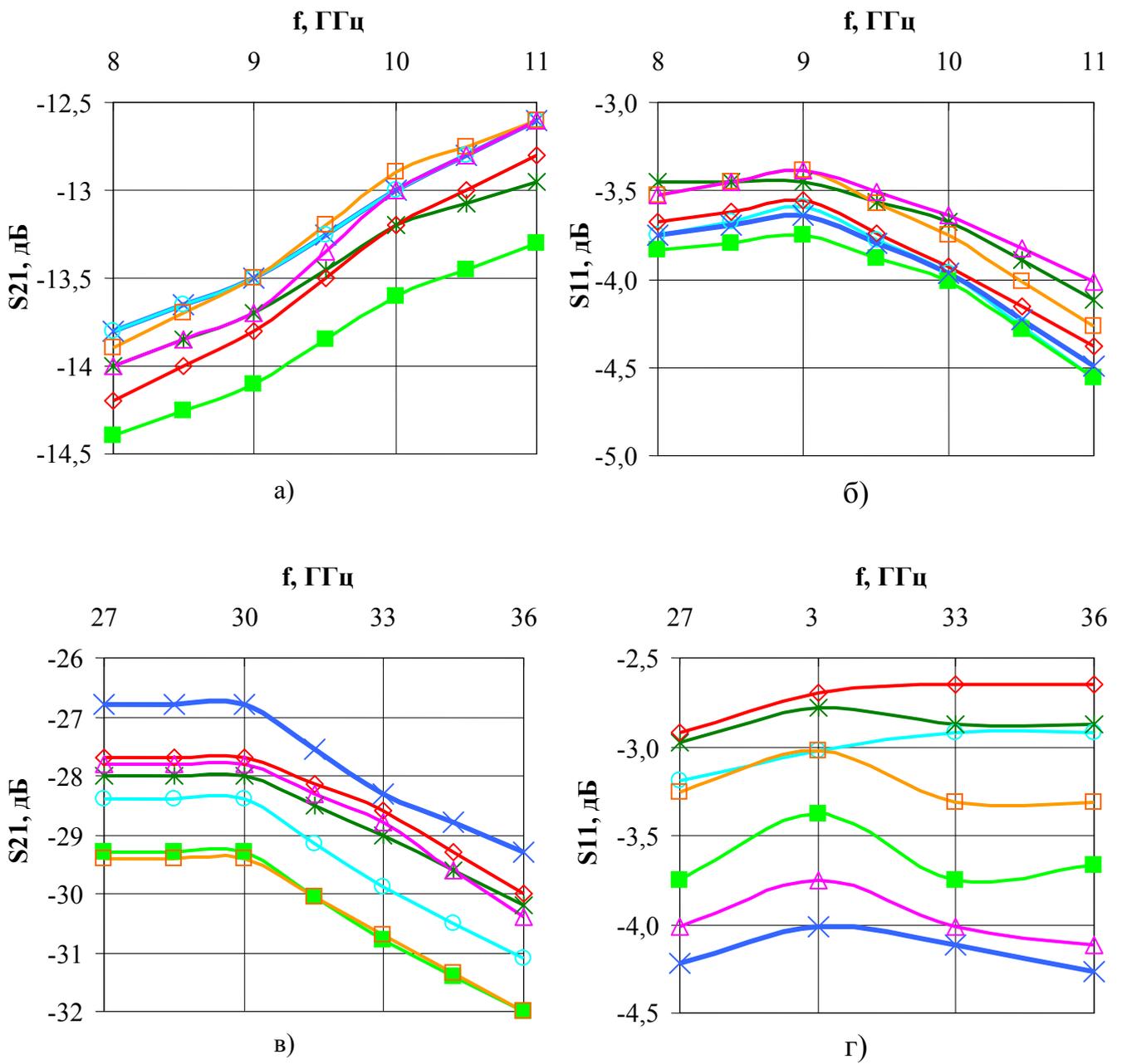


Рисунок П. 1.1 Зависимость коэффициентов передачи (а, в) и отражения (б, г) от частоты для образцов со следующими растворами кислот:

○ — БК, □ — ЛК, ◇ — ВК, △ — МК, * — ЦК, ■ — ССК;
 × — образец, пропитанный дистиллированной водой

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Экранирующие характеристики экспериментальных образцов с солевыми наполнителями

Таблица П. 2.1 – Экранирующие характеристики образцов с солевыми наполнителями в частотном диапазоне 8 – 11 ГГц

Концентрация, М	Вещество	S21, дБ				КСВН				S11, дБ			
		f, ГГц				f, ГГц				f, ГГц			
		8	9	10	11	8	9	10	11	8	9	10	11
–	H ₂ O	-13,8	-13,5	-13,0	-12,6	4,7	4,9	4,5	4,0	-3,8	-3,6	-4,0	-4,5
0,4	K ₂ Cr ₂ O ₇	-15,3	-15,0	-14,3	-14,1	5,1	5,1	4,6	4,1	-3,5	-3,5	-3,8	-4,3
0,1	K ₂ Cr ₂ O ₇	-14,2	-13,8	-13,2	-13,0	5,0	5,1	4,5	4,0	-3,5	-3,5	-3,9	-4,5
1,0	K ₃ [Fe(CN) ₆]	-17,8	-17,5	-17,1	-16,9	4,7	4,7	4,4	4,1	-3,8	-3,8	-4,1	-4,4
0,1	K ₃ [Fe(CN) ₆]	-14,4	-14,1	-13,5	-13,3	5,5	5,5	5,0	4,5	-3,2	-3,2	-3,5	-4,0
0,1	NaCl	-13,8	-13,5	-12,9	-12,5	5,3	5,4	5,0	4,5	-3,3	-3,3	-3,5	-3,9
1,0	NaCl	-14,9	-14,6	-14,1	-13,9	5,0	5,1	4,8	4,4	-3,5	-3,5	-3,7	-4,1
1,0	KCl	-15,6	-15,3	-14,8	-14,5	5,2	5,3	4,9	4,5	-3,4	-3,3	-3,6	-3,9
0,1	KCl	-14,2	-13,7	-13,0	-12,6	5,2	5,3	4,8	4,2	-3,4	-3,3	-3,7	-4,2
0,1	H ₃ BO ₃	-13,8	-13,5	-13,0	-12,6	4,7	4,9	4,5	3,9	-3,8	-3,6	-4,0	-4,6
1,0	MnSO ₄	-14,4	-14,1	-13,5	-13,3	4,8	4,9	4,5	4,1	-3,7	-3,6	-3,9	-4,3
1,0	NiSO ₄	-14,5	-14,1	-13,6	-13,3	4,9	5,0	4,6	4,1	-3,6	-3,6	-3,8	-4,4
1,0	CuSO ₄	-14,7	-14,4	-13,9	-13,7	4,8	4,8	4,4	3,9	-3,7	-3,7	-4,0	-4,6
0,1	CuSO ₄	-14,0	-13,7	-12,8	-12,5	5,1	5,2	4,7	4,1	-3,5	-3,4	-3,8	-4,3
0,1	MnSO ₄	-14,1	-13,7	-13,2	-12,8	5,2	5,4	4,9	4,4	-3,4	-3,3	-3,6	-4,1
0,1	NiSO ₄	-14,2	-13,7	-13,0	-12,8	5,0	5,1	4,7	4,1	-3,5	-3,5	-3,8	-4,4
1,0	CuCl ₂	-15,9	-15,3	-14,7	-14,6	4,7	4,8	4,5	4,1	-3,8	-3,7	-4,0	-4,4
0,1	CuCl ₂	-14,5	-13,7	-13,0	-12,9	4,7	4,8	4,3	3,8	-3,8	-3,7	-4,2	-4,7
1,0	ZnSO ₄	-15,0	-14,7	-14,2	-13,9	4,7	4,7	4,3	3,9	-3,8	-3,8	-4,1	-4,6
0,1	ZnSO ₄	-13,6	-13,3	-13,0	-12,6	4,5	4,5	4,3	3,8	-3,9	-3,9	-4,2	-4,7

Таблица П. 2.2 – Экранирующие характеристики образцов с солевыми наполнителями в частотном диапазоне 26 – 37 ГГц

Концентрация, М	Наполнитель	S21, дБ				КСВН				S11, дБ			
		f, ГГц				f, ГГц				f, ГГц			
		27	30	33	36	27	30	33	36	27	30	33	36
0,4	K ₂ Cr ₂ O ₇	-25,8	-26,1	-22,2	-28,6	5,0	5,2	5,0	5,2	-3,5	-3,4	-3,5	-3,4
0,1	K ₂ Cr ₂ O ₇	-26,7	-26,9	-28,0	-29,4	5,0	5,2	5,0	5,0	-3,5	-3,4	-3,5	-3,5
1,0	K ₃ [Fe(CN) ₆]	-29,3	-29,3	-30,2	-31,0	6,2	6,8	6,5	6,2	-2,8	-2,6	-2,7	-2,8
0,1	K ₃ [Fe(CN) ₆]	-29,0	-29,0	-30,0	-30,8	5,8	6,0	5,8	5,8	-3,0	-2,9	-3,0	-3,0
0,1	NaCl	-25,2	-25,1	-26,3	-27,9	4,3	4,6	4,3	4,2	-4,2	-3,8	-4,1	-4,3
1,0	NaCl	-27,5	-27,6	-28,6	-29,8	5,1	5,5	5,0	5,1	-3,5	-3,2	-3,5	-3,5
1,0	KCl	-27,9	-27,9	-29,1	-30,5	5,3	5,5	5,9	5,9	-3,3	-3,2	-3,0	-3,0
0,1	KCl	-28,5	-28,6	-30,0	-31,0	4,7	5,2	4,7	4,7	-3,8	-3,4	-3,8	-3,8
0,1	H ₃ BO ₃	-28,4	-28,4	-29,9	-31,1	5,5	5,8	6,0	6,0	-3,2	-3,0	-2,9	-2,9
1,0	MnSO ₄	-26,0	-26,2	-26,9	-28,0	5,0	5,5	5,2	5,2	-3,5	-3,2	-3,4	-3,4
1,0	NiSO ₄	-26,7	-26,7	-27,8	-29,0	4,7	5,2	4,9	4,8	-3,8	-3,4	-3,6	-3,7
1,0	CuSO ₄	-27,4	-27,4	-28,2	-29,3	5,3	5,8	5,3	5,3	-3,3	-3,0	-3,3	-3,3
0,1	CuSO ₄	-29,6	-29,6	-31,0	-32,0	5,5	6,0	5,8	5,8	-3,2	-2,9	-3,0	-3,0
0,1	MnSO ₄	-29,1	-29,2	-30,2	-31,5	5,6	6,1	6,0	5,8	-3,1	-2,9	-2,9	-3,0
0,1	NiSO ₄	-30,4	-30,4	-31,8	-33,0	5,0	5,3	5,2	5,1	-3,5	-3,3	-3,4	-3,5
1,0	CuCl ₂	-28,2	-28,0	-29,0	-30,2	5,2	5,6	5,5	5,4	-3,4	-3,1	-3,2	-3,3
0,1	CuCl ₂	-27,9	-28,1	-29,4	-30,5	5,4	5,8	5,5	5,6	-3,3	-3,0	-3,2	-3,1
1,0	ZnSO ₄	-25,9	-25,8	-26,9	-27,9	4,2	4,4	4,1	4,0	-4,3	-4,0	-4,3	-4,5
0,1	ZnSO ₄	-27,7	-27,9	-29,2	-30,3	4,8	5,2	5,0	4,9	-3,7	-3,4	-3,5	-3,6
1/1	KCl+NaCl	-25,8	-28,0	-29,6	-30,1	5,2	5,2	5,2	5,2	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4
1/ 1	NiSO ₄ +MnSO ₄	-21,1	-22,8	-24,0	-23,3	5,0	5,0	5,0	5,0	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6
0,4/ 1	K ₂ Cr ₂ O ₇ +KCl	-27,5	-29,3	-30,6	-31,5	6,0	6,0	6,0	6,0	-2,9	-2,9	-2,9	-2,9
1/ 1	K ₃ [Fe(CN) ₆]+KCl	-24,7	-26,7	-27,8	-28,0	5,2	5,2	5,2	5,2	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4
1/1	CuSO ₄ +NiSO ₄	-18,6	-19,8	-20,4	-20,7	5,3	5,3	5,3	5,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3

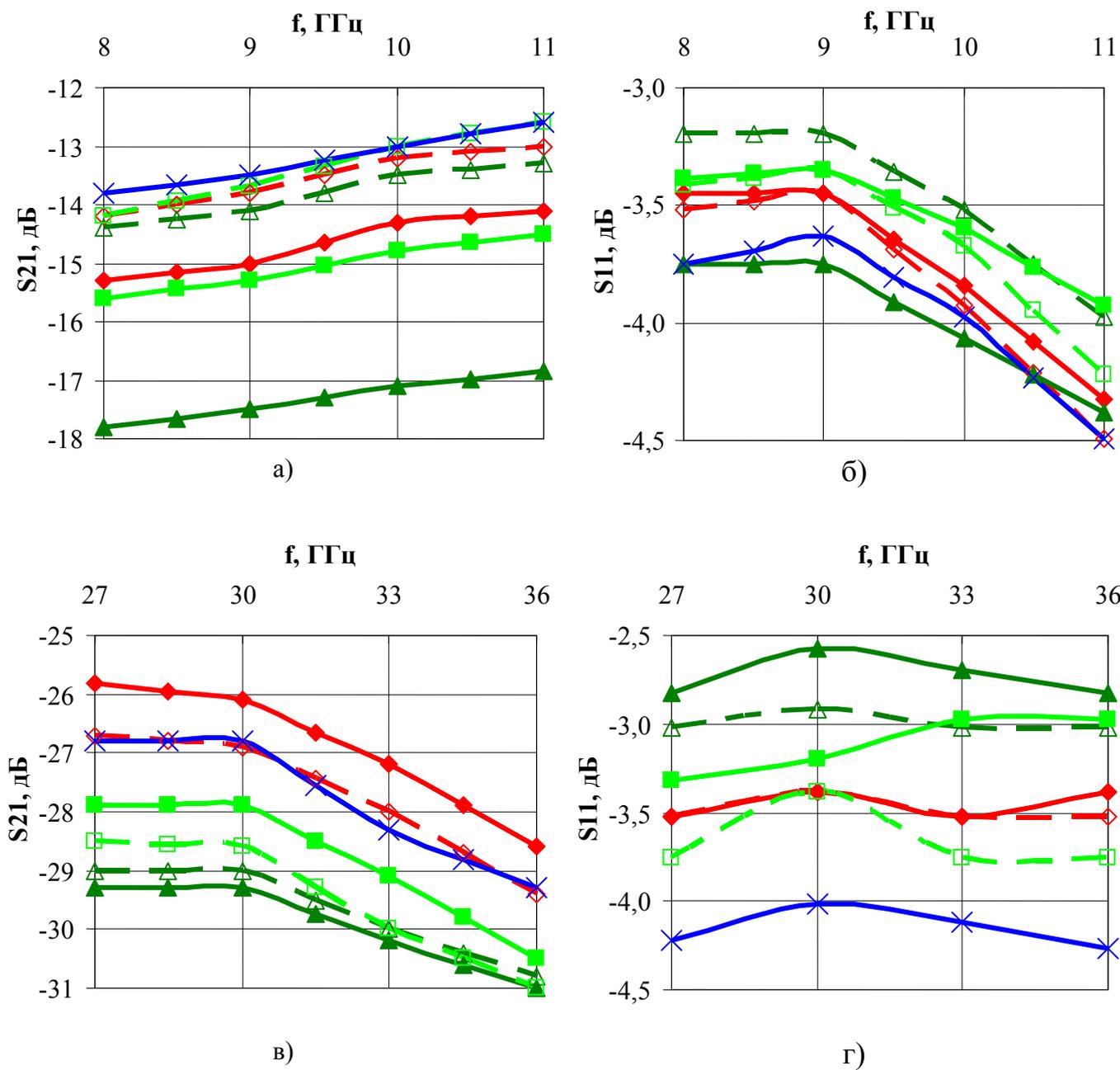


Рисунок П. 2.1 Зависимость коэффициентов передачи (а, в) и отражения (б, г) от частоты для образцов с различными солевыми растворами калия:

- ◆— $K_2Cr_2O_7$ (0,4 M), —▲— $K_3[Fe(CN)_6]$ (1 M), —■— KCl (1 M),
- ◇— $K_2Cr_2O_7$ (0,1 M), —△— $K_3[Fe(CN)_6]$ (0,1 M), —□— KCl (0,1 M);
- ×— образец, пропитанный дистиллированной водой

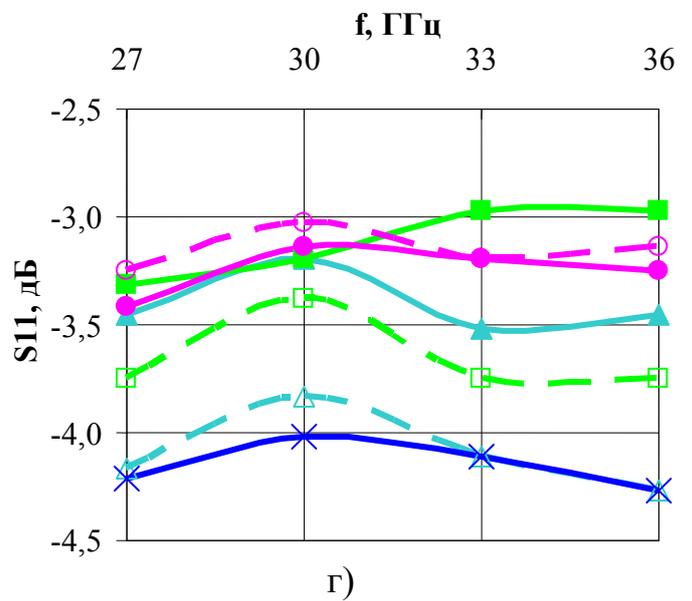
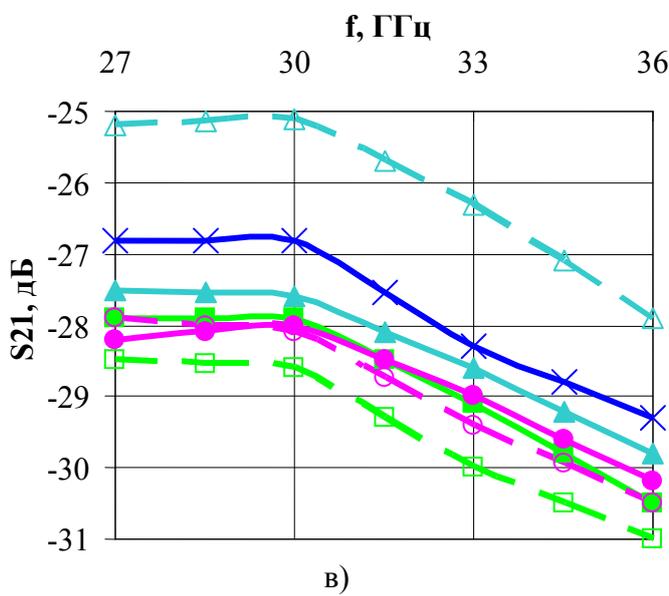
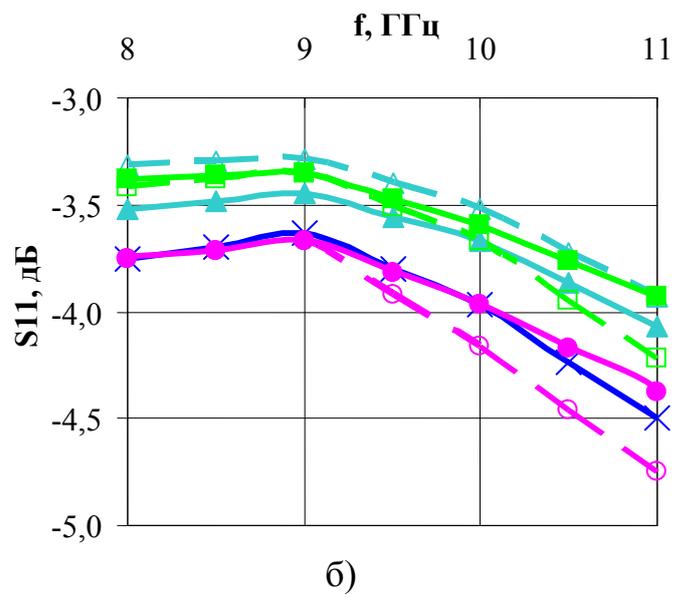
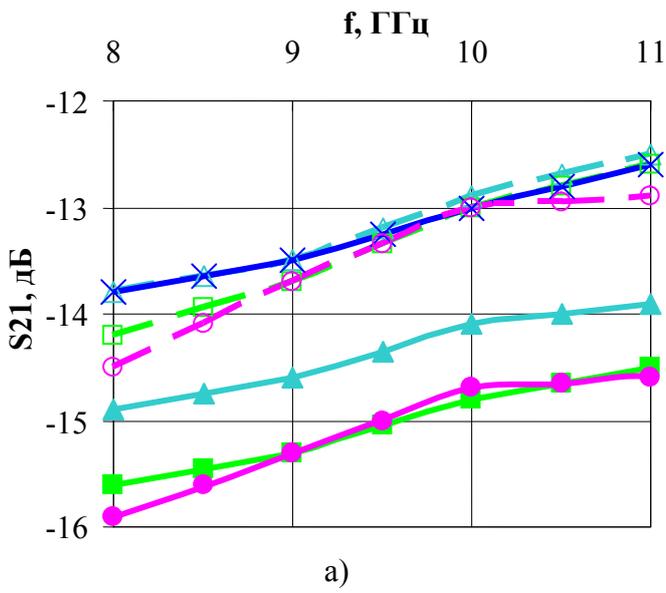


Рисунок П. 2.2 Зависимость коэффициентов передачи (а, в) и отражения (б, г) от частоты для образцов с различными хлоридными растворами:

- CuCl₂ (1 M), ▲ NaCl (1 M), ■ KCl (1 M),
- CuCl₂ (0,1 M), △ NaCl (0,1 M), □ KCl (0,1 M);
- × образец, пропитанный дистиллированной водой

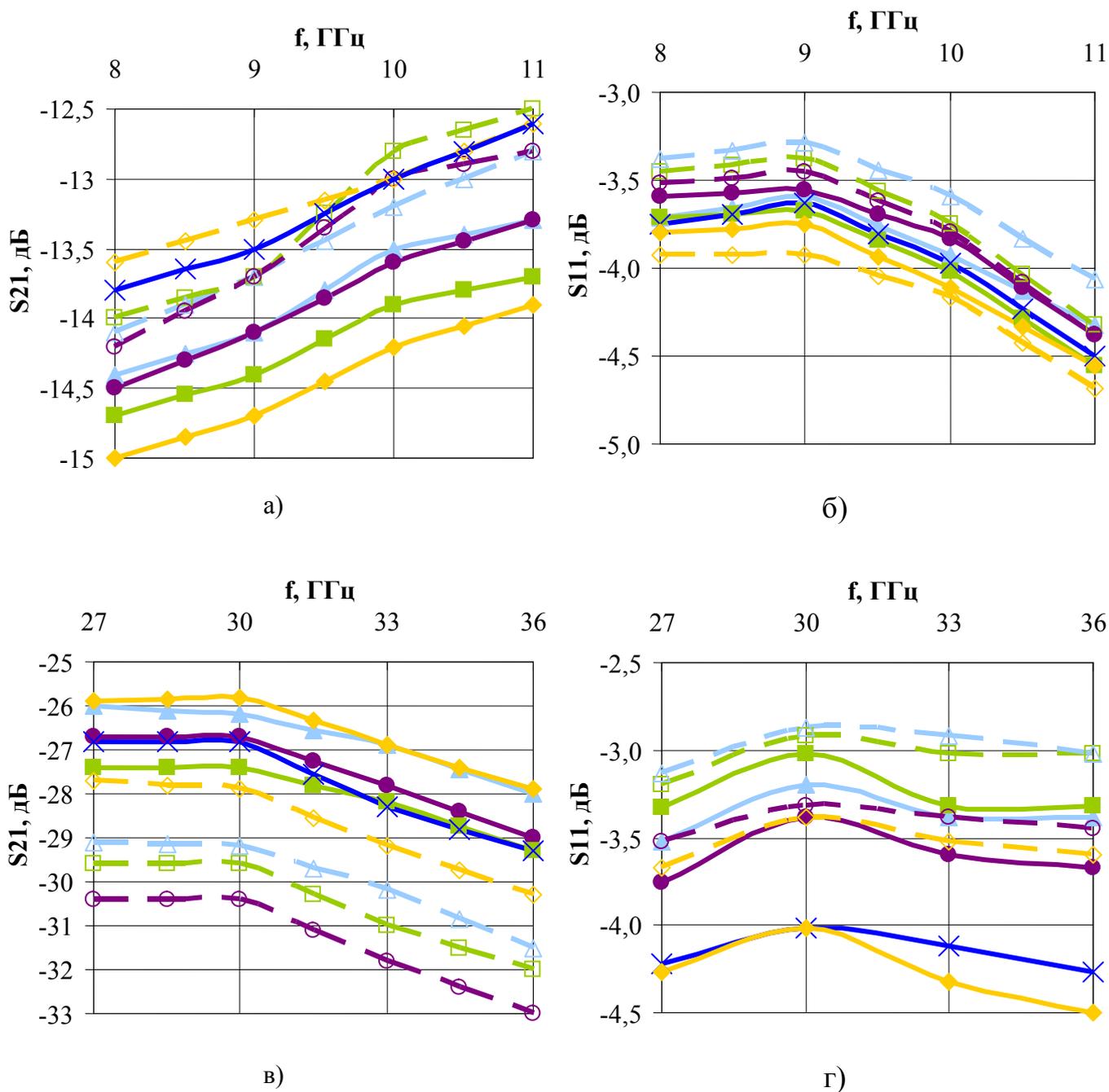


Рисунок II. 2.3 Зависимость коэффициентов передачи (а, в) и отражения (б, г) от частоты для образцов с различными сульфатными растворами:

- \blacktriangle MnSO₄ (1 M), \blacksquare CuSO₄ (1 M), \bullet NiSO₄ (1 M),
- \triangle MnSO₄ (0,1 M), \square CuSO₄ (0,1 M), \circ NiSO₄ (0,1 M),
- \blacklozenge ZnSO₄ (1 M), \lozenge ZnSO₄ (0,1 M);
- \times образец, пропитанный дистиллированной водой

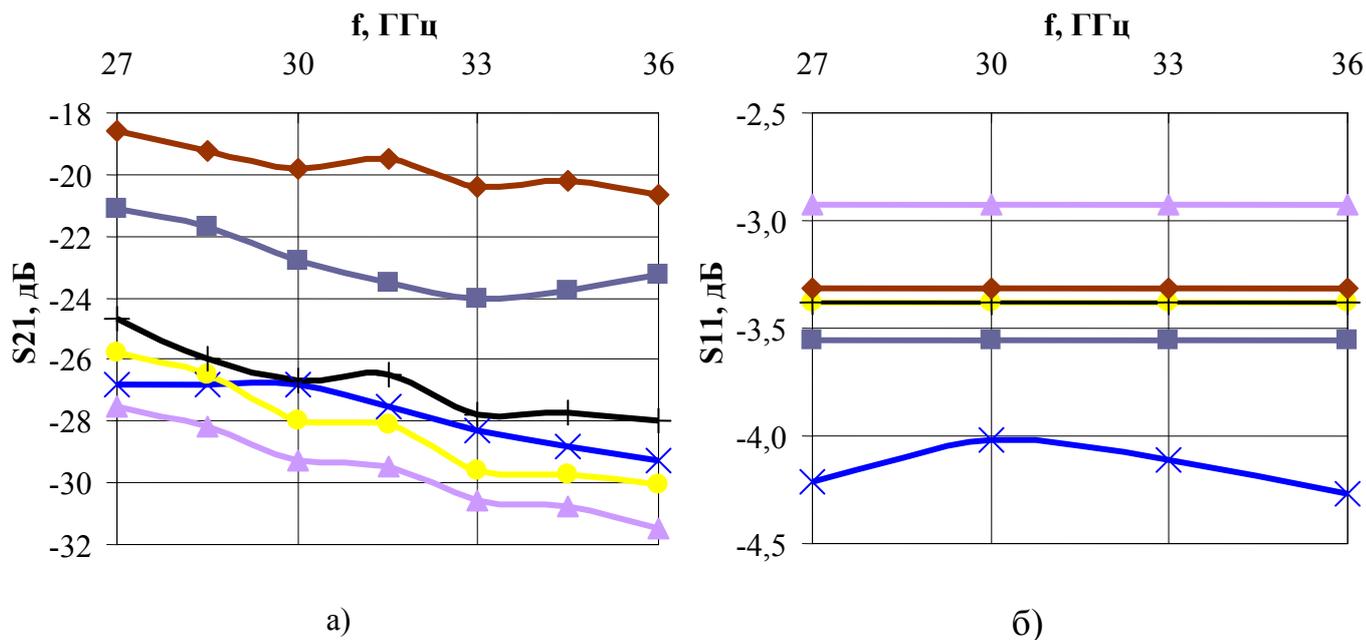


Рисунок П. 2.4 Зависимость коэффициентов передачи (а) и отражения (б) от частоты для образцов с комбинированными солевыми наполнителями:

- $KCl+NaCl$, ■ $NiSO_4+MnSO_4$, ▲ $K_2Cr_2O_7+KCl$, — $K_3[Fe(CN)_6]+KCl$,
- ◆ $CuSO_4+NiSO_4$; × образец, пропитанный дистиллированной водой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Экранирующие характеристики экспериментальных образцов с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями

Таблица П. 3.1 – Экранирующие характеристики образцов с гелевыми наполнителями в частотном диапазоне 8 – 12 ГГц

Наполнитель	S21, дБ					КСВН					S11, дБ					КСВН _{отр}					S11 _{отр} , дБ				
	f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц				
	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
ПВС	-12,4	-12,1	-11,5	-11,5	-11,5	13,8	14,0	11,0	9,0	11,0	-1,3	-1,2	-1,6	-1,9	-1,6	4,8	4,1	3,3	3,2	3,7	-3,7	-4,3	-5,4	-5,6	-4,8
Желатин	-11,8	-11,8	-11,5	-11,3	-11,0	12,0	12,8	9,9	8,1	8,5	-1,5	-1,4	-1,8	-2,2	-2,1	4,4	3,8	3,4	3,6	4,5	-4,0	-4,7	-5,2	-5,0	-3,9
Крахмал	-14,2	-13,6	-13,0	-13,0	-13,1	12,0	12,8	9,8	7,2	7,2	-1,5	-1,4	-1,8	-2,4	-2,4	6,9	7,0	7,0	7,4	10,0	-2,5	-2,5	-2,5	-2,4	-1,7
ОК	-14,4	-13,9	-14,0	-14,4	-15,0	13,9	11,9	8,0	6,8	8,5	-1,3	-1,5	-2,2	-2,6	-2,1	8,5	8,5	7,7	7,7	11,5	-2,1	-2,1	-2,3	-2,3	-1,5

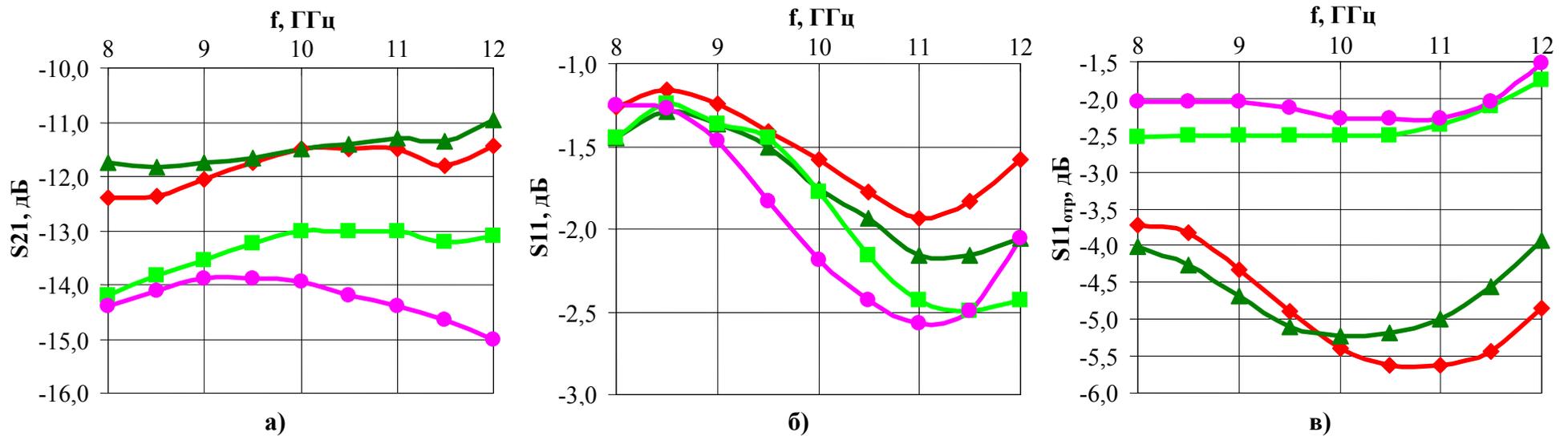


Рисунок П. 3.1 Зависимость коэффициентов передачи (а), отражения (б) и коэффициента отражения с отражающей поверхностью (в) от частоты для образцов с гелевыми наполнителями:

—◆— ПВС, —▲— желатин, —■— крахмал, —●— ОК

Таблица П. 3.2 – Экранирующие характеристики образцов с гелево-порошковыми наполнителями в частотном диапазоне 8 – 12 ГГц

Наполнитель	S21, дБ					КСВН					S11, дБ					КСВН _{отр}					S11 _{отр} , дБ				
	f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц				
	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
TiO ₂ + ПВС	-13,7	-13,3	-12,6	-12,5	-12,3	9,4	10,0	8,7	7,0	7,4	-1,9	-1,7	-2,0	-2,5	-2,4	4,3	4,0	3,8	3,9	4,6	-4,2	-4,5	-4,6	-4,6	-3,8
TiO ₂ + желатин	-13,6	-13,4	-12,7	-12,5	-12,4	11,5	13,0	9,8	7,3	7,4	-1,5	-1,3	-1,8	-2,4	-2,4	6,2	6,0	6,0	6,0	7,6	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-2,3
ZrO ₂ + ПВС	-11,5	-11,4	-11,0	-10,9	-10,7	10,0	10,3	9,0	7,1	7,6	-1,7	-1,7	-1,9	-2,5	-2,3	3,9	3,5	3,0	2,9	3,2	-4,5	-5,1	-6,0	-6,2	-5,6
ZrO ₂ + желатин	-12,1	-11,9	-11,4	-11,2	-11,1	7,5	8,0	7,0	5,8	5,3	-2,3	-2,2	-2,5	-3,0	-3,3	3,1	2,9	2,5	2,3	2,7	-5,8	-6,4	-7,4	-8,0	-6,9
шунгит + желатин	-14,2	-13,8	-13,4	-13,5	-13,9	9,2	9,0	7,2	5,8	6,2	-1,9	-1,9	-2,4	-3,0	-2,8	7,0	7,1	7,2	7,2	9,0	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-1,9
шунгит + ПВС	-13,4	-13,0	-12,7	-12,7	-12,9	11,7	12,2	9,8	7,2	7,2	-1,5	-1,4	-1,8	-2,4	-2,4	5,6	5,6	5,8	5,9	7,8	-3,1	-3,1	-3,0	-3,0	-2,2
TiO ₂ + крахмал	-13,9	-13,6	-14,0	-15,0	-16,1	11,0	12,0	8,5	7,2	7,5	-1,6	-1,5	-2,1	-2,4	-2,3	5,2	5,2	5,2	5,9	7,5	-3,4	-3,4	-3,4	-3,0	-2,3
ZrO ₂ + крахмал	-14,7	-14,8	-15,8	-17,0	-17,8	10,0	9,3	7,6	7,4	10,0	-1,7	-1,9	-2,3	-2,4	-1,7	14,0	14,0	12,0	12,0	20,0	-1,2	-1,2	-1,5	-1,5	-0,9
шунгит + крахмал	-14,9	-14,1	-13,8	-14,0	-14,6	12,0	12,0	9,0	7,0	7,5	-1,5	-1,5	-1,9	-2,5	-2,3	9,0	9,0	9,0	9,0	12,0	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,5
шунгит + ОК	-15,3	-15,1	-15,7	-16,7	-17,5	10,5	9,8	7,9	7,2	10,0	-1,7	-1,8	-2,2	-2,4	-1,7	11,9	11,9	9,8	9,2	14,0	-1,5	-1,5	-1,8	-1,9	-1,2
ZrO ₂ + ОК	-12,3	-12,1	-11,7	-11,5	-11,4	11,3	11,3	8,5	6,8	7,3	-1,5	-1,5	-2,1	-2,6	-2,4	3,3	2,8	2,8	3,1	4,1	-5,4	-6,5	-6,5	-5,8	-4,3
TiO ₂ + ОК	-13,1	-12,7	-12,3	-12,2	-12,3	12,5	13,5	9,2	7,0	7,0	-1,4	-1,3	-1,9	-2,5	-2,5	4,3	3,7	3,4	3,7	5,2	-4,1	-4,8	-5,3	-4,8	-3,4

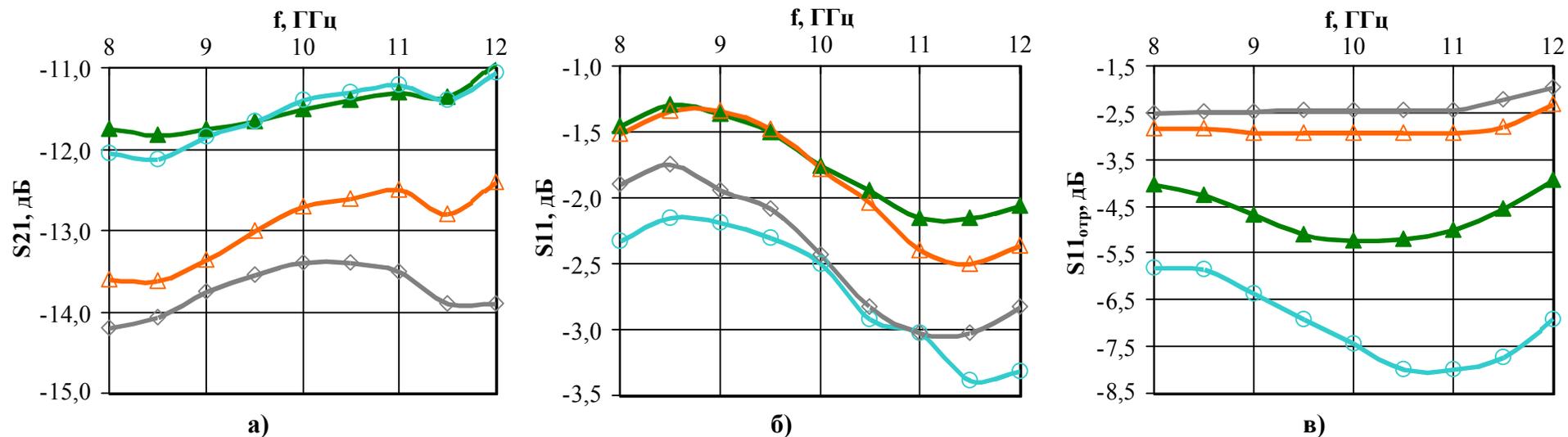


Рисунок II. 3.2 Зависимость коэффициентов передачи (а), отражения (б) и коэффициента отражения с отражающей поверхностью (в) от частоты для образцов с наполнителями из смеси желатина и порошка: \triangle TiO_2 , \circ ZrO_2 , \diamond шунгит; \blacktriangle желатин без порошка

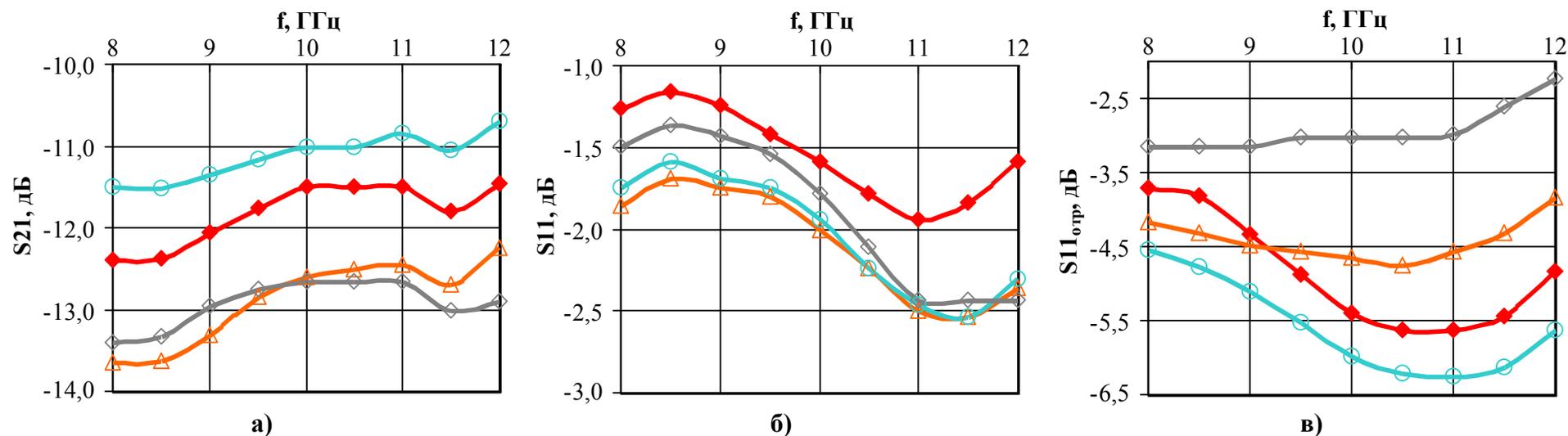


Рисунок II. 3.3 Зависимость коэффициентов передачи (а), отражения (б) и коэффициента отражения с отражающей поверхностью (в) от частоты для образцов с наполнителями из смеси ПВС и порошка: \triangle TiO_2 , \circ ZrO_2 , \diamond шунгит; \blacklozenge ПВС без порошка

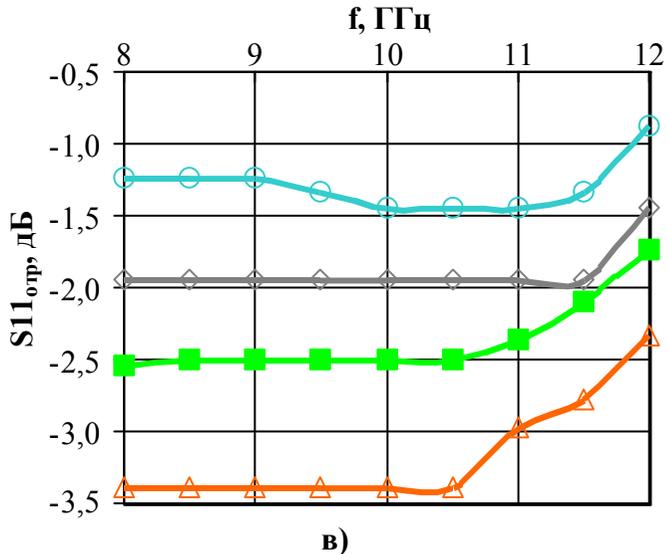
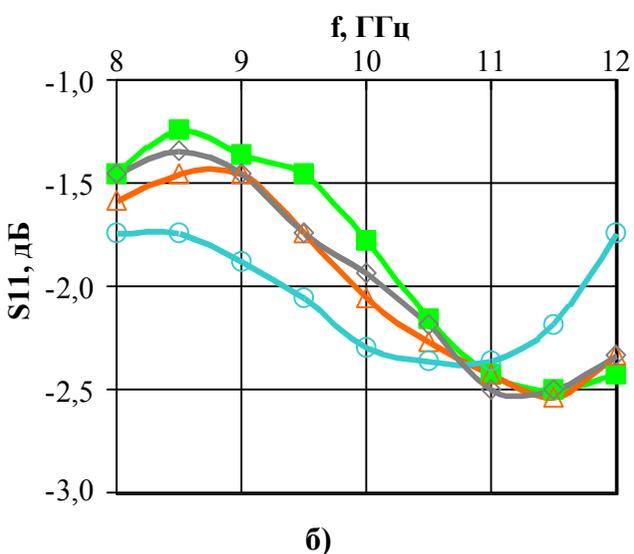
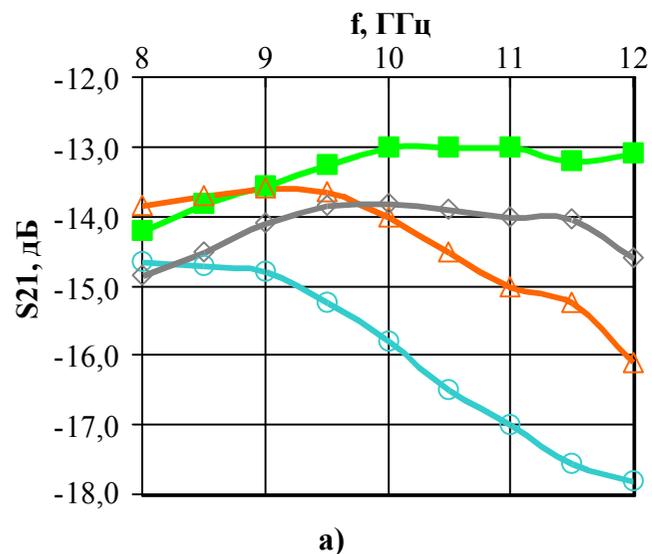


Рисунок П. 3.4 Зависимость коэффициентов передачи (а), отражения (б) и коэффициента отражения с отражающей поверхностью (в) от частоты для образцов с наполнителями из смеси крахмала и порошка: \triangle TiO₂, \circ ZrO₂, \diamond шунгит; \blacksquare крахмал без порошка

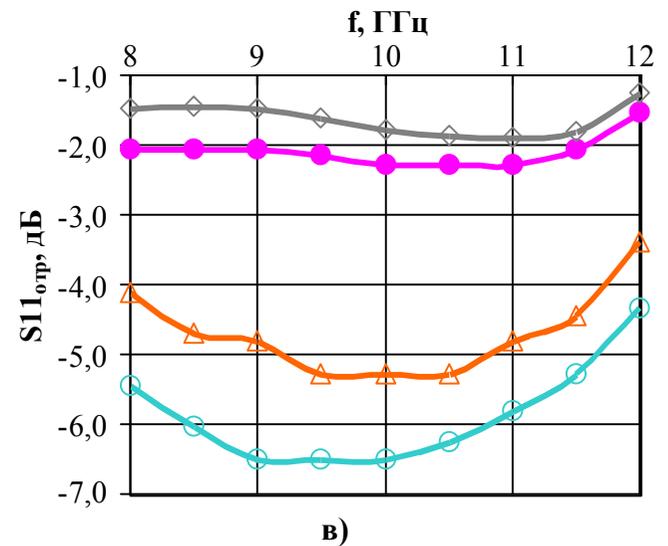
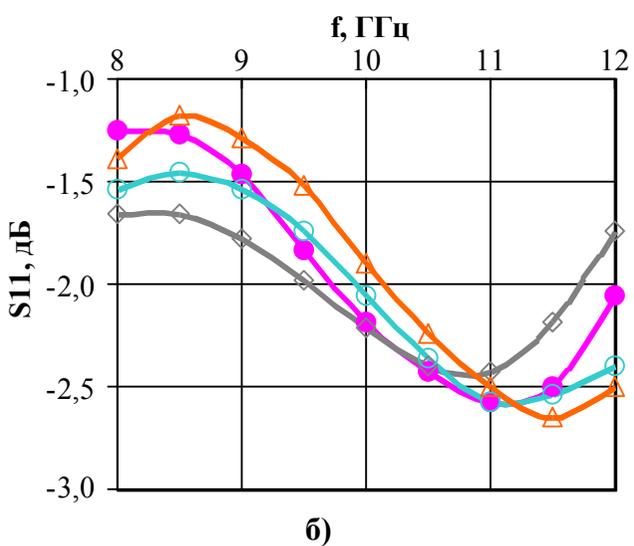
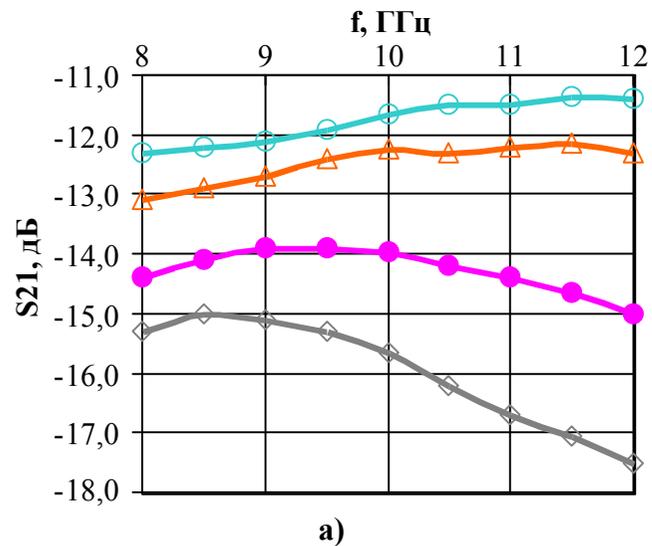


Рисунок П. 3.5 Зависимость коэффициентов передачи (а), отражения (б) и коэффициента отражения с отражающей поверхностью (в) от частоты для образцов с наполнителями из смеси ОК и порошка: \triangle TiO₂, \circ ZrO₂, \diamond шунгит; \bullet ОК без порошка

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Экранирующие характеристики высушенных экспериментальных образцов с наполнителями на основе гелей

Таблица П. 4.1 – Экранирующие характеристики высушенных образцов с наполнителями на основе гелей в частотном диапазоне 8 – 12 ГГц

Наполнитель	S21, дБ					КСВН					S11, дБ					КСВН _{отр}					S11 _{отр} , дБ				
	f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц					f, ГГц				
	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
Образец б/наполнителя	-1,9	-2,0	-1,8	-1,7	-1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	-12,6	-13,0	-13,0	-13,6	-14,3	5,2	4,9	4,4	5,2	5,8	-3,4	-3,6	-4,0	-3,4	-3,1
TiO ₂ + ПВС	-1,2	-1,3	-1,3	-1,1	-0,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	-10,5	-11,0	-10,9	-11,4	-12,2	3,5	3,3	3,3	3,5	3,5	-5,1	-5,4	-5,5	-5,1	-5,1
TiO ₂ + желатин	-1,1	-1,2	-1,0	-0,9	-0,8	1,8	1,7	1,8	1,7	1,6	-11,3	-11,7	-11,3	-11,9	-13,0	4,4	4,0	4,2	4,3	4,3	-4,0	-4,4	-4,2	-4,1	-4,1
ZrO ₂ + ПВС	-1,7	-1,7	-1,8	-1,6	-1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	-11,7	-12,2	-11,7	-11,7	-11,7	2,7	2,7	2,9	3,3	3,7	-6,9	-6,8	-6,2	-5,4	-4,8
ZrO ₂ + желатин	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,0	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	-10,6	-11,2	-11,0	-11,4	-12,5	4,4	4,3	4,0	4,3	4,4	-4,0	-4,1	-4,4	-4,1	-4,0
шунгит + желатин	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	-0,9	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	-13,3	-14,0	-14,0	-14,0	-16,3	4,4	4,1	3,7	4,5	6,0	-4,0	-4,3	-4,8	-3,9	-2,9
шунгит + крахмал	-2,0	-2,0	-1,8	-1,7	-1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	-10,9	-11,5	-11,5	-12,2	-12,7	3,5	3,7	3,8	3,7	3,3	-5,1	-4,8	-4,7	-4,9	-5,4
TiO ₂ + крахмал	-1,5	-1,4	-1,2	-1,2	-1,2	1,7	1,7	1,7	1,6	1,4	-11,6	-11,5	-11,7	-12,7	-15,2	3,7	4,3	4,5	4,3	3,9	-4,8	-4,1	-3,9	-4,1	-4,6
шунгит + ПВС	-1,2	-1,3	-1,3	-1,2	-1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0	4,5	4,2	4,0	4,0	3,8	-3,9	-4,2	-4,4	-4,4	-4,7
ОК	-1,0	-0,8	-0,9	-0,7	-0,7	1,6	1,5	1,6	1,6	1,5	-12,7	-14,0	-12,7	-13,3	-14,7	5,5	5,1	5,0	4,8	4,3	-3,2	-3,5	-3,5	-3,7	-4,2
шунгит + ОК	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1,3	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	-13,3	-13,3	-13,3	-13,3	-14,0	4,3	4,1	4,1	3,8	2,9	-4,1	-4,3	-4,3	-4,7	-6,2

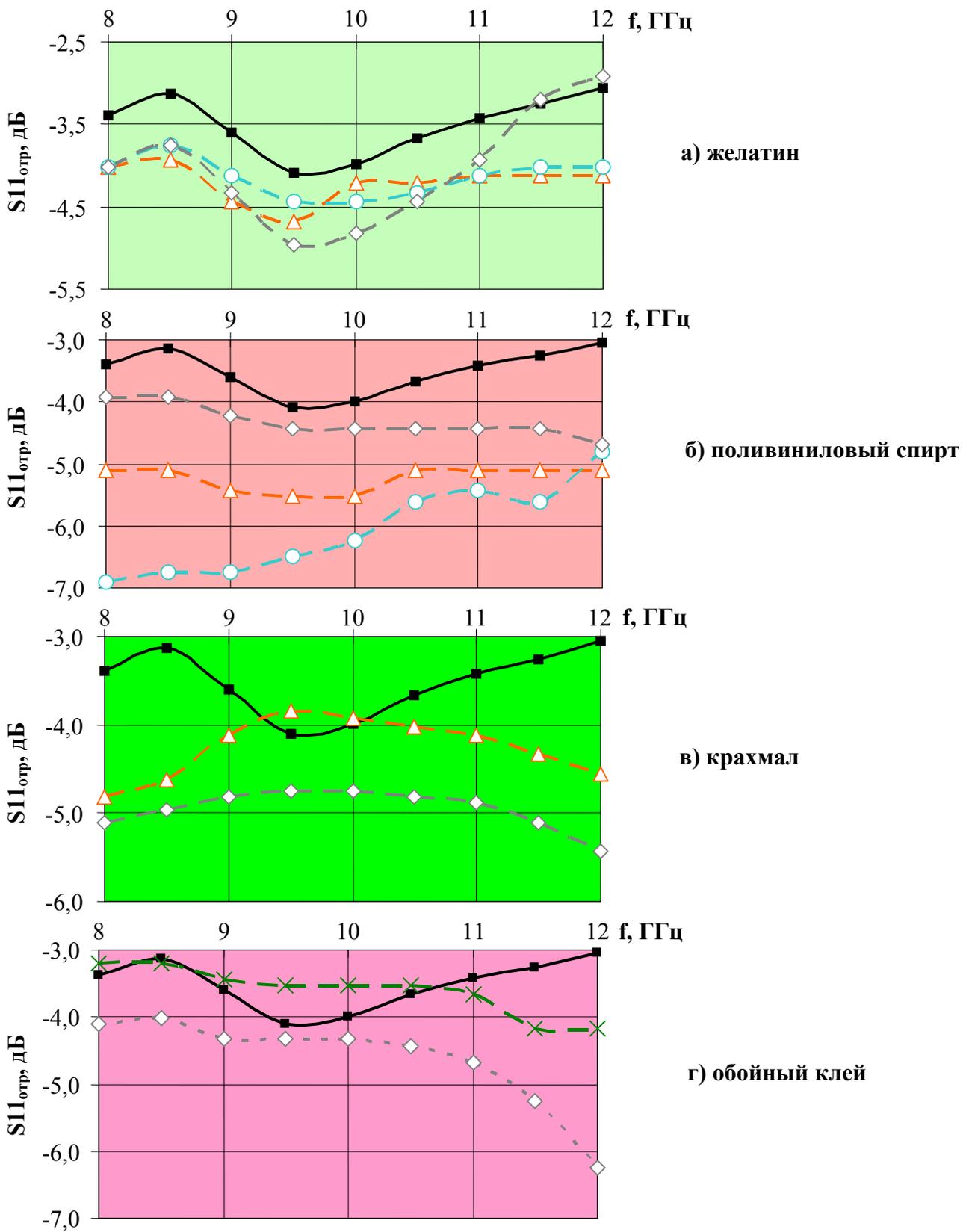


Рисунок П. 4.1 Зависимость коэффициента отражения с отражающей поверхностью высушенных образцов с наполнителями из смеси геля и порошка:

—△— TiO₂, —○— ZrO₂, —◇— шунгита;
 —■— текстиль без наполнителя, —×— ОК



III МНТК



2007

3-я Международная
молодежная
научно-техническая
конференция



**СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
РАДИОТЕХНИКИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Севастополь 16-21 апреля 2007 г.

**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИОТЕХНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
«РТ - 2007»**

**Материалы 3-ей международной
молодежной научно-технической конференции
16—21 апреля 2007 г.**

Севастополь 2007

УДК 621.317+621.37+537.86

Редакционная коллегия:

Пашков Е.В., д-р техн. наук, проф., первый проректор СевНТУ. — председатель;
Гимпилевич Ю.Б., д-р техн. наук, проф., зав. каф. — зам. председателя;
Афонин И.Л., канд. техн. наук, доцент;
Михайлюк Ю.П., канд. техн. наук, доцент;
Савочкин А.А., канд. техн. наук, доцент;
Бердышев С.Н., ассистент.

Научный редактор

Гимпилевич Ю.Б., д-р техн. наук, проф.

Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ - 2007»: Матеріали 3-ої міжнар. молодіжної наук.-техн. конф., 16 — 21 квітня 2007 р. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2007. — 330 арк.

Збірник містить матеріали, присвячені теоретичним і практичним питанням сучасної радіотехніки та телекомунікацій.

Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ - 2007»: Материалы 3-ей междунар. молодежной науч.-техн. конф., 16 — 21 апреля 2007 г. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. — 330 с.

Сборник содержит материалы, посвященные теоретическим и практическим вопросам современной радиотехники и телекоммуникаций.

Modern Issues in Radio Engineering and Telecommunications «RT - 2007»: Materials of the 3-rd International Young Scientist Conference, April 16 — 21, 2007. — Sevastopol: Publishing house of SevNTU, 2007. — 330 p.

The book contains materials of reports on actual theoretical and practical problems of modern radio engineering and telecommunication.

ISBN 966-2960-02-3

© Издательство СевНТУ, 2007

СЕКЦИЯ 5

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Кучер Д.Б., Харланов А.И., Степанова М.В. Влияние внешнего магнитного поля на характеристики сверхпроводящих защитных устройств	228
Степин Д.В. Исследование паразитных эффектов в импульсных DC/DC преобразователях электрической энергии	229
Депко П.І. Флікер-шум — розгадка внутрішньої структури	230
Лазарев Д.В. Экспертная система поддержки принятия решений по обеспечению электромагнитной совместимости на подвижных объектах радиосвязи	231
Грибский М.П. Воздействие импульсных электромагнитных полей на современные приемопередающие экранированные СВЧ микросхемы	232
Горяева С.Н. Анализ достоверности передаваемой информации в системах абонентского радиодоступа	233

СЕКЦИЯ 6

КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Киндрась А.В. Альтернативные солнечные элементы на основе гетероструктур	236
Гришеленок Д.А. Разработка технологии элементов памяти на основе сегнетоэлектрических пленок	237
Хвалько А.А. Люминесцентные оксидные покрытия	238
Архипов Д.В. Разработка полосового фильтра на диэлектрических резонаторах	239
Яновская Н.Н., Фролов А.В. Автоматизированное вычисление диодных параметров кремниевых фотопреобразователей со структурой n^+-p-p^+	240
Яцунский И.Р., Свиридова О.В. Температурная зависимость подвижности носителей зарядов в канале инверсионных полевых МОП-структур при наличии структурных дефектов	241
Попов М.А., Загородний В.В. Связанные электромагнитно-спиновые колебания в слоистой структуре с гексаферритом стронция	242
Плоткин А.Д., Чебышев В.С. Влияние физикотехнических характеристик несимметричных полосковых линий на их СВЧ параметры	243
Логин В.М., Будник А.В. Моделирование процесса формирования объемных структур для микроэлектромеханических систем	244
Витяганец А.І. Математична модель магніторезистивного вимірювального перетворювача активної потужності середніх частот	245
Максуль О.В. Формирование плёнок с низким значением диэлектрической постоянной для мезуровневой изоляции	246
Терлецкая Т.Ю. Исследование причин разброса фоточувствительности мезаэпифузионных $p-i-n$ структур	247
Лазарев Д.В. Комплексная многофакторная модель полного электрического сопротивления переменного контакта	248
Маслюк Т.В., Омеляненко М.Ю. Микрополосковые фильтры на кольцевых резонаторах дециметрового диапазона длин волн	249
Грицкевич Е.В., Фризюк Е.А. Моделирование емкостных элементов МЭМС	250
Головатая С.В., Зубаревич О.И. Влагонаполненные гибкие экраны электромагнитного излучения	251
Хотомцев Г.С. Свойства тонких пленок сегнетоэлектрических составов	252
Анджело Я.Г. Анализ использования различных методов решения задачи поля в моделях макрочастиц	253
Мурзин Д.Г. Предельное динамическое напряжение коллектор-эмиттер биполярного транзистора в ключевом режиме	254
Осипчук С.О. Моделювання статичних та динамічних характеристик та параметрів електронних елементів	255
Киселева И.В., Шоферистов С.Е. Структуры кремниевых термодатчиков со стабильной метрологической характеристикой	256

ВЛАГОНАПОЛНЕННЫЕ ГИБКИЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Головатая С.В., Зубаревич О.И.

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доц. Позняк А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
кафедра химии, кафедра защиты информации

ул. П. Бровки, д. 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

Тел.: +375 (017) 2938957; e-mail: kafchim@bsuir.unibel.by

Аннотация — Рассмотрено влияние природы смесей водных растворов электролитов на коэффициент отражения и поглощения электромагнитного излучения.

I. Введение

В современном мире обостряется проблема защиты человека и живых организмов от нежелательного воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ), а также проблемы защиты информации [1]. Одним из направлений создания защитных экранирующих материалов является формирование влагонеполненных матриц. Ранее были изучены полотна, пропитанные растворами индивидуальных веществ [2]. В настоящей работе исследованы матрицы, содержащие смеси водных растворов электролитов с целью оценки влияния их природы на микроволновые свойства гибких экранов ЭМИ.

II. Основная часть

В качестве капиллярно-пористой матрицы использовали полиакрилонитрильное полотно с поверхностной плотностью 1313 г/м^2 . Удельный поглощаемый объем раствора составил $1,667 \text{ мл/г}$. Для пропитки использовали $1,0 \text{ М}$ раствор AlCl_3 , смесь растворов $0,4 \text{ М}$ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 1,0 \text{ М}$ KCl и смеси $1,0 \text{ М}$ растворов $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{KCl}$, $\text{KCl} + \text{NaCl}$, $\text{NiSO}_4 + \text{MnSO}_4$, $\text{CuSO}_4 + \text{NiSO}_4$ в объемном соотношении 1:1. После пропитки производили герметизацию матриц.

Коэффициенты передачи и отражения ЭМИ исследовали в диапазонах $27 \dots 36$ и $80 \dots 118 \text{ ГГц}$ с помощью панорамных измерителей коэффициентов стоячей волны по напряжению и ослабления с волноводным измерительным трактом и векторных анализаторов параметров четырехполюсников. Образцы размещали между рупорными антеннами или внутри волновода.

Результаты измерений коэффициентов передачи S_{21} и отражения S_{11} экранов с растворными наполнителями представлены на рисунке.

Из полученных зависимостей видно, что с увеличением частоты коэффициент передачи уменьшается в диапазоне $27 \dots 36 \text{ ГГц}$, а в диапазоне $80 \dots 118 \text{ ГГц}$ — увеличивается. При этом средние значения коэффициентов отражения практически не изменяются в обоих диапазонах. Однако для каждого диапазона можно выделить наполнители с наименьшими коэффициентами передачи. Для $27 \dots 36 \text{ ГГц}$ лучшими являются смеси растворов $\text{KCl} + \text{NaCl}$, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{KCl}$ и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KCl}$, а в диапазоне $80 \dots 118 \text{ ГГц}$ — смеси $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KCl}$, $\text{KCl} + \text{NaCl}$, $\text{NiSO}_4 + \text{MnSO}_4$ и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{KCl}$.

III. Заключение

Исследование влияния природы смесей водных растворов электролитов на коэффициенты передачи и отражения показало, что существенных различий коэффициентов отражения не наблюдается, в то

время как различия коэффициента передачи, в зависимости от природы наполнителя, может составлять до 10 и 2 дБ в диапазонах $27 \dots 36$ и $80 \dots 118 \text{ ГГц}$ соответственно.

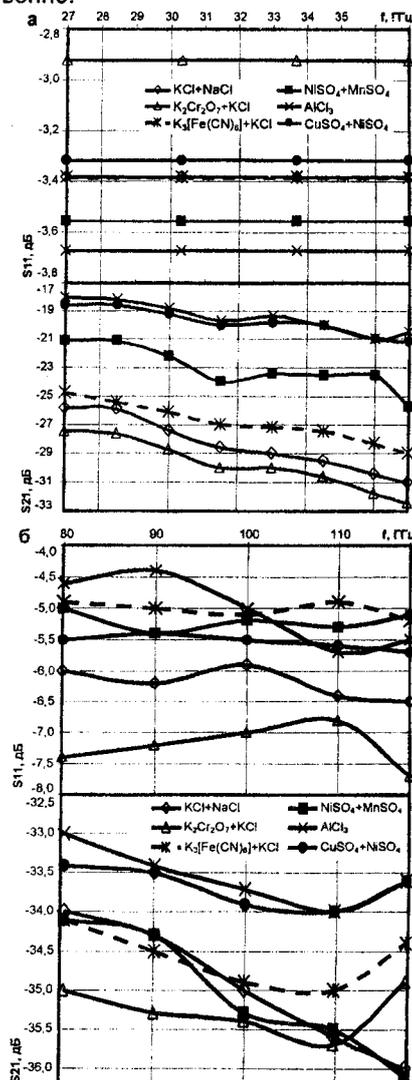


Рис. 1 — Частотные зависимости коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21} в диапазонах $27 \dots 36$ (а) и $80 \dots 118 \text{ ГГц}$ (б)

IV. Список литературы

- [1] Лыньков Л.М. Конструкции гибких поглотителей электромагнитной энергии СВЧ диапазона / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, В.А. Богуш, Н.В. Колбун // Доклады БГУИР. — Мн.: БГУИР, 2003. — Т.1. — №1. — С. 28—29.
- [2] Зубаревич О.И. Гибкие радиопоглощающие покрытия / О.И. Зубаревич // Мат. МНТК студентов, аспирантов и ученых «Молодежь и современные проблемы радиотехники и телекоммуникации «РТ—2006». — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — 212 с.

3-я Международная молодежная научно-техническая конференция

«Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2007», 16 — 21 апреля 2007 г., Севастополь, Украина

Матеріали
3-ої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції
«Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» «РТ - 2007»

Материалы
3-ей международной молодежной научно-технической конференции
«Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» «РТ - 2007»

Materials of
the 3-rd International Young Scientist Conference
«Modern Issues in Radio Engineering and Telecommunications» «RT - 2007»

Відповідальний за видання
Пашков Є.В., проф., д-р техн. наук

Технічний редактор	Л.А. Кареліна
Нормоконтролер	Г.М. Персідський
Комп'ютерний набір і верстка	С.М. Бердишев, О.Г. Лук'янчук, О.А. Савочкін

Здано в набір 10.03.2007. Підп. до друку 07.03.2007. ДК № 1272 від 17.03.2003.
Формат 89×124М/16. Пап. тип №1. Офс. друк. Ум. друк. арк. 41,25.
Тираж 320 прим. Зам. № 4.

Видавництво СевНТУ, м. Севастополь, 99053, Стрілецька балка, Студмістечко, НМЦ,
тел. 23 52 10, e-mail: nmc@sevgtu.sebastopol.ua

V БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

28 мая - 1 июня 2007 г.



Минск

**Министерство образования Республики Беларусь
Государственный центр безопасности информации РБ
Федеральная служба технического и экспортного контроля РФ
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
НИИ Технической защиты информации РБ
Академия управления при Президенте РБ
Объединенный институт проблем информатики НАН РБ
Белорусская инженерная академия
Высший государственный колледж связи**

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ И КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

V Белорусско-российской научно–технической конференции

28 мая – 1 июня 2007 г., Минск

Минск

2007

РЕДКОЛЛЕГИЯ СБОРНИКА

В.Ф. Голиков, Г.В. Давыдов, В.А. Ивкович, В.К. Конопелько, В.А. Лабунов, Л.М. Лыньков, В.И. Новиков, А.М. Прудник

Технические средства защиты информации: Материалы докладов и краткие сообщения V Белорусско-российской научно-технической конференции, 28 мая — 1 июня 2007 г., Минск, Мн.: БГУИР, 2007. — 100 с.

Издание содержит материалы докладов и краткие сообщения по техническим средствам защиты информации: организационно-правовому обеспечению защиты, средствам обнаружения и подавления каналов утечки информации, программно-аппаратным средствам защиты в компьютерных и телекоммуникационных сетях и в банковских технологиях.

НАУЧНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

М.П. Батура — ректор БГУИР, председатель;
Л.М. Лыньков — зав. каф. защиты информации БГУИР, зам. председателя;
В.Н. Алексеев — зам. начальника управления Федеральной службы технического и экспортного контроля РФ;
В.В. Анищенко — зам. ген. директора Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси;
В.Г. Булавко — директор Центра НАН Беларуси;
В.Ф. Голиков — профессор каф. защиты информации БГУИР;
А.Н. Горбач — начальник отдела Государственного центра безопасности информации при Президенте РБ;
В.И. Захаров — зав. лаб. Российского государственного университета им. К.Э. Циолковского;
В.М. Колешко — зав. каф. интеллектуальных систем БНТУ, президент БИТА;
В.К. Конопелько — зав. каф. сетей и устройств телекоммуникаций БГУИР;
А.П. Кузнецов — проректор по научной работе БГУИР;
В.А. Лабунов — академик НАН Беларуси;
С.В. Маслов — первый зам. начальника Государственного центра безопасности информации при Президенте РБ;
Н.И. Мухуров — зав. лаб. Института электроники НАН Беларуси;
И.Г. Назаров — нач. отдела Федеральной службы технического и экспортного контроля РФ;
В.И. Новиков — зав. каф. управления информационными ресурсами Академии управления при Президенте РБ;
А.В. Сидоренко — проф. БГУ;
Ю.С. Харин — член-корреспондент НАН Беларуси;
А.В. Хижняк — нач. каф. Военной академии Республики Беларусь;
О.В. Чурко — директор НИИ технической защиты информации;

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Л.М. Лыньков — зав. каф. защиты информации БГУИР, председатель;
А.М. Прудник — доц. БГУИР, зам. председателя;
В.А. Богуш — зав. каф. метрологии и стандартизации БГУИР;
В.Ф. Голиков — профессор каф. защиты информации БГУИР;
Г.В. Давыдов — зав. НИЛ БГУИР;
В.А. Ивкович — нач. патентно-информационного отдела БГУИР;
В.К. Конопелько — зав. каф. БГУИР;
В.Ф. Томилин — зам. проректора по НИЧ БГУИР

- Белоус А.А., Хижняк А.В. Анализ влияния безопасности радиолокационной информации в многоуровневой, иерархической автоматизированной системе управления 63
- Моисеев В.В. Результаты сравнительного анализа методики обнаружения поляризующих оптическое излучение объектов путем обработки видеопотока изображений 64
- Моисеев В.В., Хижняк А.В. Выбор метода спектрального оценивания дискретных сигналов для задачи цифровой обработки видеопотока изображений 65
- Дука Д.А., Мацкевич А.Н. Профиль защиты одноранговой локальной вычислительной сети 66

Секция 4. Проектирование и производство элементов и компонентов для систем защиты информации

- Луговский В.П., Русак И.М. Особенности использования электросетей для передачи данных при удаленном мониторинге их параметров 67
- Ильина Е.А., Прищепа С.Л. Повышение помехозащищенности по магнитному полю элементов сверхпроводниковой наноэлектроники 67
- Колбун В.С., Таболич Т.Г. Анализ перекрытия зон визуального наблюдения с помощью системы автоматизированного проектирования AutoCAD 68
- Щукина Л.В., Образцов Н.С. Анализ влияния температурных воздействий на полупроводниковые приборы и интегральные схемы импульсами промышленных помех 68
- Щукина Л.В., Образцов Н.С. Расчёт тока плавления для алюминиевой и медной металлизации интегральных микросхем при воздействии электростатического разряда 69
- Щукина Л.В., Образцов Н.С. Способы защиты электронной аппаратуры от электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения 70
- Колбун Н.В., Фан Н. Занг, Наумович Н.М., Веретенников И.В. Экспресс-оценка характеристик отражения экранов электромагнитного излучения 70
- Лыньков Л.М., Кузнецов С.С., Власова Г.И., Соколов В.Б., Терех И.С., Захаров В.И., Украинец Е.А. Особенности изготовления многослойных конструкций экранов электромагнитных излучений из текстильных волокон 71
- Никифоренко Л.Г., Богуш В.А. Химический синтез композиционных металлосодержащих материалов для электромагнитных экранов СВЧ-диапазона 72
- Головатая С.В., Зубаревич О.И., Позняк А.А. Гибкие текстильные экраны электромагнитного излучения с гелевыми наполнителями 73
- Головатая С.В., Зубаревич О.И., Позняк А.А. Влияние природы гелевых наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения 74
- Павлович М.С. Радиопоглощающие свойства силикагеля и цеолитов при различных методах герметизации 76
- Ухов В.А., Белоус А.И., Емельянов А.В., Сякерский В.С. Анализ отказов изделий электроники методом оже-спектроскопии 76
- Котов Д.А., Дубкова В.И. Поверхностная модификация волокнистых материалов нанесением функциональных металлических слоёв 77
- Котов Д.А., Завадский С.М. Формирование металлических покрытий на полимерных элементах конструкций методом магнетронного распыления 78
- Мусский А.С. МЭМС переключатели на основе Al₂O₃ для систем оптической коммутации каналов 78
- Глухманчук В.В., Карпов И.Н., Турцевич А.С., Соловьев Я.А., Солодуха В.А., Родин Г.Ф. Технология формирования вертикальных затворов для БТИЗ и ДМОП-транзисторов 79
- Глухманчук В.В., Амиров И.И., Турцевич А.С., Соловьев Я.А., Солодуха В.А., Морозов О.В. Формирование элементной базы нового поколения с реактивным ионным травлением канавок в кремнии 80
- Керенцев А.Ф., Турцевич А.С., Глухманчук В.В., Добрян Т.С. Технология горячего лужения выводов корпуса ТО-126 бессвинцовым припоем 80
- Соколов В.Б. Исследование свойств радиопоглощающих материалов для снижения радиолокационной заметности 81
- Барановский О.К., Зеневич А.О. Характеристики кремниевых фотодиодов для задач квантовой генерации случайных чисел 82
- Наливайко О.Ю., Пшеничный Е.Н., Турцевич А.С., Плебанович В.И., Панько Г.М. Особенности процесса осаждения слоев SiGe в системе SiH₄-GeH₄ 83
- Наливайко О.Ю., Гайдук П.И., Турцевич А.С., Плебанович В.И., Борисевич В.М. Структура пленок SiGe, осажденных при пониженном давлении 83
- Тымощик А.С. Технология быстрой разработки и изготовления МЭМС приборов 84

раствора $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ или $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ соответственно, на второй — осаждение путем последовательной обработки образцов в растворах соли металла и восстановителя для достижения требуемой концентрации металла. На третьей стадии осуществляли герметизацию образцов без предварительной сушки в прозрачную барьерную двухслойную пленку для предотвращения окисления металлических кластеров кислородом воздуха. После проведения этапов синтеза волокна приобретали различную окраску: зеленоватую после сорбции ионов из раствора сернокислого никеля и красновато-белую – сернокислого кобальта, насыщенно черную после восстановления.

Установлено, что осаждение никеля и кобальта на поверхность волокнистого полиакрилонитрила методом сорбции ионов с последующим восстановлением приводит к формированию наноструктурированных покрытий, содержащих кластеры кристаллического металла и его соединений, зафиксированных в пористой структуре волокна. Синтезированные волокнистые материалы отличались высокой химической активностью по отношению к парам воды и кислороду воздуха, что отражалось в изменении окраски волокон и значений ослабления электромагнитной энергии не герметизированных образцов. Измерения ослабления ЭМВ образцами непосредственно после синтеза показали, что эффективность таких экранов составляет в среднем 15 дБ в диапазоне частот от 8 до 12 ГГц. После выдержки образцов при нормальных условиях в течение 2 недель значение ослабления уменьшилось до 11 дБ. Экспериментально показано, что материалы обладают достаточно высоким коэффициентом отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8–12 ГГц близким к 1 и уменьшающимся до 0,77 с увеличением частоты.

Обсуждаются вопросы применения материалов в системах обеспечения экологической безопасности, защиты пользователей радиоэлектронного оборудования и для уменьшения уровней паразитных электромагнитных излучений информационных систем. Полученные материалы также перспективны для использования в конструкциях поглотителей электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

ГИБКИЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ГЕЛЕВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

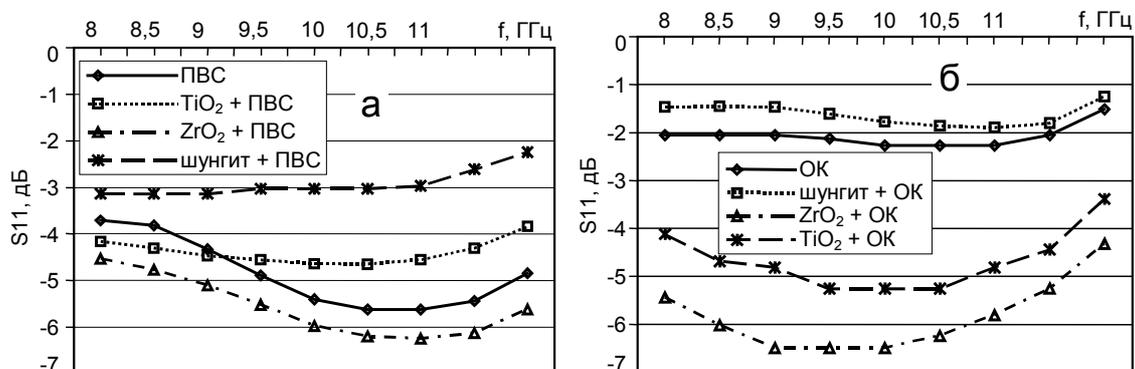
С.В. Головатая, О.И. Зубаревич, А.А. Позняк

Экранирование электромагнитных излучений (ЭМИ) — это основа экологической безопасности и одно из самых эффективных средств пассивной защиты объекта от утечки информации по техническим каналам. Одним из перспективных направлений является создание экранов на основе гибких радиопоглощающих материалов с различного рода наполнителями. В продолжение работ о влиянии растворных наполнителей на подавление ЭМИ [1, 2] были исследованы гелевые и гелево-порошковые наполнители для гибких экранов на основе синтетических или химически модифицированных природных гелеобразующих агентов.

Для пропитки текстильных матриц (полиакрилонитрильное полотно с поверхностной плотностью 1313 г/м^2) использовали, в частности, следующие гелевые наполнители: поливиниловый спирт (ПВС) и обойный клей (ОК) промышленного изготовления, представляющий собой химически модифицированный крахмал, а также гелево-порошковые наполнители, которые

получали путем смешивания с полученным гелем различных порошкообразных добавок: диоксидов титана TiO_2 и циркония ZrO_2 , и природного минерала шунгита.

Коэффициенты отражения и передачи измеряли в диапазоне 8–12 ГГц, графики зависимостей коэффициента отражения с отражателем, расположенным за исследуемой матрицей, представлены на рисунке.



Зависимость коэффициента отражения от частоты для матриц с ПВХ (а) и с ОК (б) с отражающей поверхностью

А также было исследовано изменение свойств полученных образцов при их высыхании.

Введение порошковых наполнителей в гели может улучшать и ухудшать экранирующие характеристики. Однако в обоих случаях при введении ZrO_2 уменьшается отражение при экранировании металлической поверхности, что соответствует улучшению эффективности поглощения ЭМИ.

Свойства образцов при высыхании не сохраняются, что обусловлено определяющим влиянием воды на подавление ЭМИ. Дальнейшими направлениями исследований может стать улучшение устойчивости матриц к высыханию, а также работа по уменьшению коэффициента отражения предлагаемых радиопоглощающих материалов.

Литература

1. Богуш В.А., Зубаревич О.И, Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Позняк А.А. Влияние природы растворных наполнителей на характеристики гибких радиопоглощающих покрытий. В кн. 15-ая Междунар. Крымская конференция "СВЧ-техника и коммуникационные технологии" (КрыМиКо'2005). Материалы конф., [Севастополь, 12-16 сентября 2005 г.]. – Севастополь: "Вебер", 2005, с. 637 – 639.
2. Богуш В.А., Зубаревич О.И, Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Позняк А.А. СВЧ-характеристики машинно-вязаных электромагнитных экранов с наполнителями на основе растворов солей металлов. – В кн. Известия Белорусской инженерной академии № 1 (19)/5. – Минск, 2005, с.174 –176.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ГЕЛЕВЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ГИБКИХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

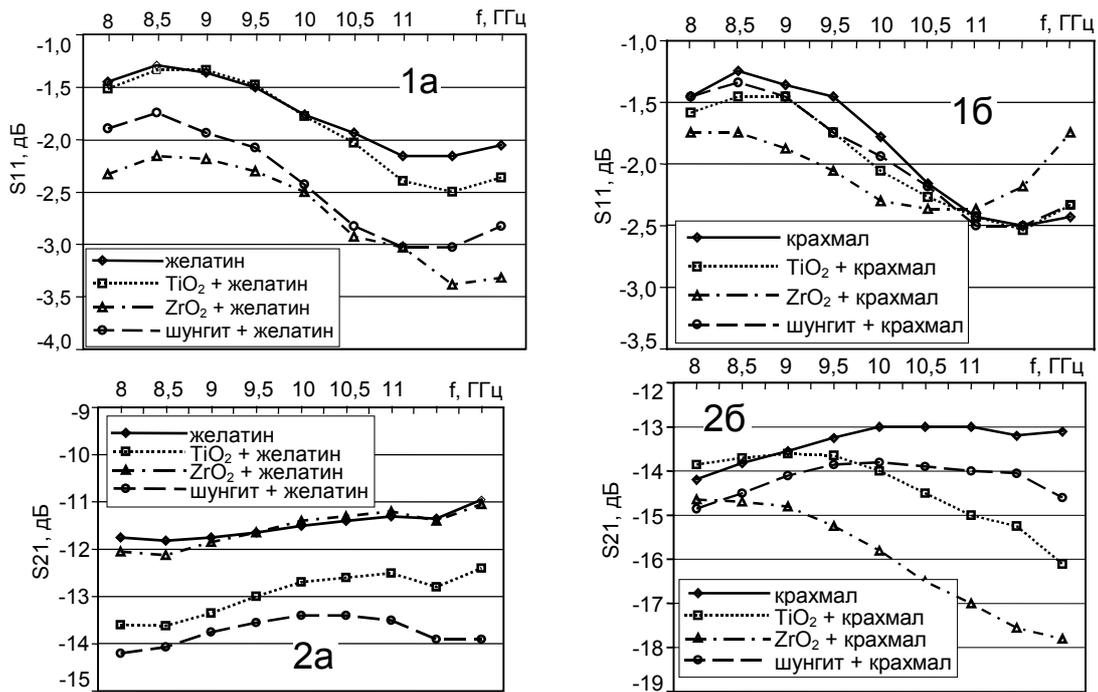
С.В. ГОЛОВАТАЯ, О.И. ЗУБАРЕВИЧ, А.А. ПОЗНЯК

С развитием научно-технического прогресса возрастает уровень электромагнитного излучения (ЭМИ), что означает и увеличение вредного воздействия ЭМИ на организм человека, биологические объекты, усложнение условий функционирования различного оборудования, обостряются проблемы

защиты информации. В данной работе, в продолжение ранее выполненных экспериментов [1, 2], исследуется влияние гелевых и гелево-порошковых наполнителей на подавление ЭМИ.

Для пропитки текстильных матриц использовали гелевые наполнители природного происхождения на основе желатина и крахмала, а также гелево-порошковые, которые получали путем введения в ранее приготовленные гели различных порошков: TiO_2 , ZrO_2 , шунгита.

Коэффициенты отражения и передачи измеряли в диапазоне 8–12 ГГц, графики частотных зависимостей коэффициентов отражения и передачи представлены на рисунке.



Частотные зависимости коэффициентов отражения (1) и передачи (2) для матриц с наполнителями на основе желатина (а) и крахмала (б)

Введение порошкообразных наполнителей приводит к улучшению эффективности экранирования и снижению коэффициента отражения исследованных материалов. Кроме того, были проведены исследования радиопоглощающих свойств полученных образцов при их высыхании, которые показали резкое снижение их эффективности.

Для достижения лучших параметров необходимо снижение коэффициента отражения. При высыхании свойства образцов не сохраняются, потому что существенную роль на подавление ЭМИ играет вода.

Литература

1. Богуш В.А., Зубаревич О.И., Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Позняк А.А. Влияние природы растворных наполнителей на характеристики гибких радиопоглощающих покрытий. – В кн. 15-ая Междунар. Крымская конференция "СВЧ-техника и коммуникационные технологии" (КрыМиКо'2005). Материалы конф., [Севастополь, 12-16 сентября 2005 г.]. – Севастополь: "Вебер", 2005, с. 637 – 639.
2. Зубаревич О.И. Гибкие радиопоглощающие покрытия. – Международная молодежная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и ученых "Молодежь и современные проблемы радиотехники и телекоммуникации" (РТС–2006). Материалы конф., [Севастополь, 17 – 21 апреля 2006 г.]. – Севастополь: СТУ, 2006, с. 212.

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ И КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
V Белорусско-российской научно-технической конференции
28 мая – 1 июня 2007 г., Минск**

Компьютерный дизайн и верстка А.М. Прудник

В авторской редакции

Подписано в печать **6.05.2005**. Формат 60×84 1/8. Гарнитура «Century Schoolbook».
Печать ризографическая. Усл. печ. л. **23,83**. Уч. изд. л. **21,45**. Тираж **100** экз. Заказ **83**.

Напечатано с оригинал-макета заказчика в типографии «Бестпринт».
220007, г. Минск, ул. Фабрициуса, д. 5, к. 1.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330/0056811 от 02.03.2004.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330/0133106 от 30.04.2004.

Издательство: Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство № 1954 от 03.12.2002.



КрыМиКо 2007 CriMiCo

**17-я Международная Крымская конференция
СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии
Материалы конференции
10-14 сентября 2007 г.
Севастополь, Крым, Украина**



Moscow • Kiev • Minsk • Sevastopol
2007

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32
С255

Организаторы и спонсоры:

Севастопольский национальный технический университет
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск)
НПО «Интеграл» (Минск)
ФГУП НПП «Исток» (Фрязино)
Компания «Интерфейс-МФГ» (Москва)
ЗАО «Микроволновые системы» (Москва)
НИИ телекоммуникаций НТУУ «КПИ» (Киев)
Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ» (Киев)
Академия инженерных наук Украины, Отделение радиоэлектроники и средств связи
ОАО «Сатурн» (Киев)
НПФ «Микран» (Томск)
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)
ООО «Бета ТВ ком» (Донецк)
Таврический национальный университет им. проф. В. И. Вернадского (Симферополь)
НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (Кацивели)
Предприятие «Вебер» (Севастополь)

Техническая и информационная поддержка:

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
НИИ радиосвязи (Ростов-на-Дону)
Научно-исследовательский технический центр «Меркурий М» (Севастополь)
Издательство «Техносфера» (Москва)
Издательство «625», (Москва – Киев)
Информационное агентство «БЕЛТА» (Минск)
Образовательный портал (Киев)
Журнал «Технология и конструирование в электронной аппаратуре» (Одесса)
COST Action/Network 284 on «Innovative Antennas for Emerging Terrestrial & Space-based Applications»
IEEE MTT/ED Central Chapter, Ukraine Section
IEEE AP/C/EMC/SP Joint Kharkov Chapter of the Ukraine Section
IEEE AP Chapter, Russia Section

17-я Международная Крымская конференция «**СВЧ-техника** и телекоммуникационные
С255 технологии» (КрыМиКо'2007). Севастополь, 10-14 сентября 2007 г.: Материалы конф. —
Севастополь: Вебер, 2007. — 940 с.: ил.

ISBN 978-966-335-015-8

В сборник материалов включены 388 прошедших рецензирование докладов по следующим направлениям: интегральные модули и усилители СВЧ; полупроводниковые приборы и интегральные схемы СВЧ; моделирование и автоматизированное проектирование твердотельных приборов и устройств; общие вопросы вакуумной электроники СВЧ; приборы СВЧ О-типа; приборы СВЧ М-типа и гиросприборы; сети беспроводного доступа; системы радиосвязи; спутниковая связь и цифровое телевидение; информационное обеспечение телекоммуникационных сетей; антенные решетки; антенны и устройства СВЧ; управляемые и сверхширокополосные пассивные компоненты; неуправляемые пассивные компоненты; материалы и технология СВЧ-приборов; наноэлектроника и нанотехнология; источники интенсивных электромагнитных полей; электромагнитная и радиационная стойкость материалов и электронной компонентной базы; измерение параметров радиотехнических цепей; измерение параметров радиосигналов и материалов; радиоволновые измерители параметров материалов, объектов и технологических процессов; СВЧ-техника в медицине и экологии; радиоастрономия и исследование земной атмосферы; радиолокация и дистанционное зондирование; элементная база СВЧ-фотоники и ее применения; подготовка специалистов телекоммуникационного профиля. Авторами докладов являются 908 ученых и специалистов из 178 университетов и предприятий 13 стран: Беларуси, Германии, Казахстана, Молдовы, Нидерланд, России, США, Украины, Финляндии, Франции Швейцарии, Швеции и Японии.

Материалы конференции изданы также на компакт-дисках с оболочкой на русском и английском языках.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий. Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32

IEEE Catalog Number 07EX1742
ISBN 978-966-335-016-5 (CD, обол. – англ.)
ISBN 978-966-335-014-1 (комплект, 2 тома)
ISBN 978-966-335-012-7 (том 1)
ISBN 978-966-335-013-4 (том 2)
ISBN 978-966-335-015-8

© Оргкомитет КрыМиКо'2007
© Издательское предприятие «Вебер», 2007

ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТРИЦ С ГЕЛЕВЫМИ И ГЕЛЕВО-ПОРОШКОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Головатая С. В., Зубаревич О. И., Позняк А. А.
 Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
 кафедра химии, кафедра защиты информации
 ул. П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь
 Тел.: +375 (017) 2938957; e-mail: poznyak@bsuir.unibel.by

Аннотация – Рассмотрено влияние природы гелевых и гелево-порошковых наполнителей гибких радиопоглощающих экранов на коэффициенты отражения и передачи электромагнитного излучения, исследовано изменение свойств пропитанных матриц при их высыхании.

I. Введение

Экранирование электромагнитных излучений (ЭМИ) — это основа экологической безопасности и одно из самых эффективных средств пассивной защиты объекта от утечки информации по техническим каналам. Одним из направлений создания защитных экранирующих материалов является формирование матриц с различного рода наполнителями. В продолжение ранее выполненных экспериментов [1 – 4], в данной работе исследованы текстильные матрицы, содержащие гелевые и гелево-порошковые наполнители с целью оценки влияния их природы на экранирующие и радиопоглощающие свойства гибких экранов ЭМИ.

II. Основная часть

В качестве капиллярно-пористой матрицы использовали полиакрилонитрильное полотно с поверхностной плотностью 1313 г/м². Для пропитки матриц использовали гелевые наполнители на основе поливинилового спирта (ПВС), желатина и картофельного крахмала, а также гелево-порошковые наполнители, которые получали путём введения в ранее приготовленные гели различных порошков: диоксида титана TiO₂ и циркония ZrO₂, и природного минерала шунгита, имеющего достаточно сложный состав. Для снижения испарения жидкости с поверхности образцов и стабилизации их свойств после пропитки, производили герметизацию с использованием многослойных полиэтиленовых плёнок. Для исследования сохранения свойств при высыхании некоторые образцы не герметизировали, а подвергали полному высушиванию в термостатированном сушильном шкафу при температуре 55°С.

Измеряли коэффициент передачи, коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и КСВН с отражающей поверхностью (КСВН_{отр}), которая размещалась за исследуемым образцом, в диапазоне 8...12 ГГц с помощью панорамных измерителей коэффициентов стоячей волны по напряжению и ослабления с волноводным измерительным трактом. Образцы размещали между фланцами волновода после предварительной калибровки измерительного тракта на передачу и отражение. Измеренные значения КСВН были использованы затем для расчёта коэффициентов отражения полученных материалов:

$$S11 = 20 \cdot \lg \frac{КСВН-1}{КСВН+1};$$

$$S11_{отр} = 20 \cdot \lg \frac{КСВН_{отр}-1}{КСВН_{отр}+1}.$$

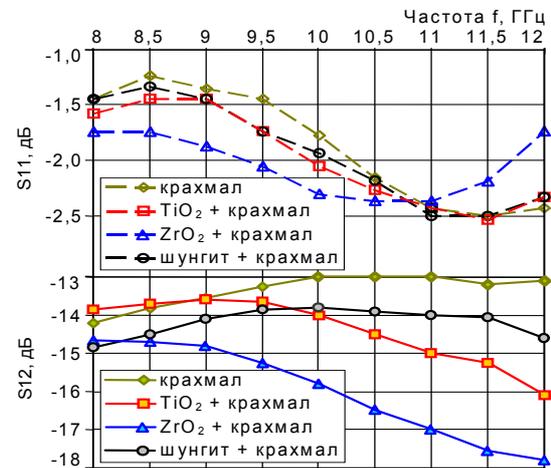


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения и передачи от частоты для матриц с крахмалом.

Fig. 1. Dependence of reflection and transference coefficient on frequency for matrixes with starch

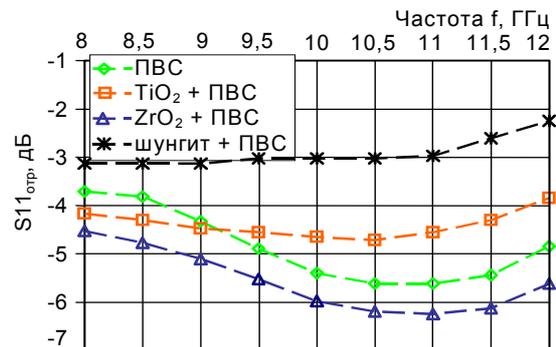


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения с отражателем от частоты для матриц с ПВС.

Fig. 2. Dependence of reflection coefficient with a reflector on frequency for matrixes with polyvinyl alcohol

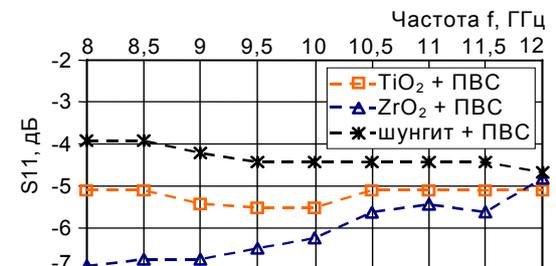


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения с отражающей поверхностью от частоты для высушенных матриц с наполнителями на основе ПВС.

Fig. 3. Dependence of reflection coefficient with a reflecting surface on frequency for dried matrixes with filling agents on basis of polyvinyl alcohol

Результаты измерений коэффициентов передачи S21, отражения S11 и коэффициентов отражения с отражающей поверхностью S11_{отр} экранов с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями представлены на рис. 1 – 3.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (грант № 07-3097).

III. Заключение

Экспериментальные образцы с наполнителями на основе крахмала обладают неплохим ослаблением ЭМИ в основном за счёт его отражения (коэффициент передачи S21 до минус 17,8 дБ при коэффициенте отражения S11 минус 1,2...2,5 дБ). Из них наиболее низкий коэффициент передачи имеет матрица с наполнителем из смеси диоксида циркония и крахмала. При этом сами образцы обладают хорошей гибкостью, а их наполнители – удержанием влаги и связующей способностью. Также было замечено, что добавление в крахмал порошков снижает и коэффициент передачи и коэффициент отражения, что может быть использовано при дальнейших исследованиях.

Шунгит и TiO₂, добавленные в ПВС, уменьшают поглощение ЭМИ экраном, закрывающим металлическую поверхность, а ZrO₂, наоборот, увеличивает.

При полном высыхании матриц с гелевыми и гелево-порошковыми наполнителями наблюдается резкое снижение их эффективности экранирования. Однако высушенные образцы с наполнителями на основе ПВС показали более низкие коэффициенты отражения с отражающей поверхностью (S11_{отр}), чем образцы, не подвергавшиеся высушиванию, и чем текстильная матрица без наполнителя. Из них самое низкое отражение имеет текстильная матрица с наполнителем из смеси диоксида циркония и ПВС (S11_{отр} до минус 6,9 дБ). Из вышесказанного можно сделать вывод, что в качестве радиопоглощающих покрытий для металлических объектов в исследуемом диапазоне частот наиболее перспективны именно сухие композиционные материалы. Также следует отметить, что высушенные образцы практически не потеряли своей гибкости и цельности (порошки не осыпаются при механических деформациях).

Также необходимо выделить, что порошок диоксида циркония в качестве добавки в гелевые наполнители текстильных матриц оказался наиболее удачным на фоне остальных применяемых порошковых добавок.

IV. Список литературы

- [1] Богдаш В. А., Зубаревич О. И., Колбун Н. В., Позняк А. А. Влияние растворных наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного канала утечки информации. Доклады Белорусского Государственного Университета Информатики и Радиоэлектроники, 2005, № 5, с. 28 – 29.
- [2] Богдаш В. А., Зубаревич О. И., Колбун Н. В., Лыньков Л. М., Позняк А. А. Влияние природы растворных наполнителей на характеристики гибких радиопоглощающих покрытий. – В кн.: 15-ая Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и коммуникационные технологии» (КрыМиКо'2005). Материалы конф., [Севастополь, 12 – 16 сентября 2005 г.]. — Севастополь: «Вебер», 2005, с. 637 – 639.
- [3] Богдаш В. А., Зубаревич О. И., Колбун Н. В., Лыньков Л. М., Позняк А. А. СВЧ-характеристики машинно-вязаных электромагнитных экранов с наполнителями на основе растворов солей металлов. Известия Белорусской инженерной академии № 1 (19)/5, 2005, с. 174 – 176.
- [4] Зубаревич О. И. Гибкие радиопоглощающие покрытия. – Международная молодежная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и учёных «Молодежь и современные проблемы радиотехники и телекоммуникации» (РТС–2006). Материалы конф., [Севастополь, 17 – 21 апреля 2006 г.]. — Севастополь: СТУ, 2006, с. 212.

SHIELDING PROPERTIES OF TEXTILE MATRIXES WITH GEL AND GEL-POWDER FILLERS

Golovataya S. V., Zubarevich O. I., Poznyak A. A.
Belarussian State University of Informatics
and Radioelectronics
P. Brovki Str., Minsk, 220013, Belarus
phone: +375-017-2398957,
e-mail: poznyak@bsuir.unibel.by

Abstract — The effect of nature of gel and gel-powder fillers of flexible radio wave absorbers on the reflection coefficient and attenuation of electromagnetic radiation was considered. The changing of impregnated matrix properties at drying was studied.

I. Introduction

Shielding of electromagnetic radiations (EMR) is the basis of ecological safety and one of the effective means for protection of information from leakage by technical channels. One of the directions for creation of shielding materials is formation of composite matrixes with filler of different nature. In this work textile matrixes with gel and gel-powder fillers were studied to estimate the effect of its nature on shielding and EMR absorbing properties of flexible shields.

II. Main Part

The knitted linen with surface density of 1313 g/m² made from polyacrylonitrile fibers was used as a porous matrix. For impregnation of such matrix gel fillers on the basis of polyvinyl alcohol, gelatin, and potato starch and gel-powder fillers on the basis of TiO₂, ZrO₂, and nature mineral "shungit" added into prepared gel were proposed. Encapsulation of samples by multilayer polyethylene films was used for decrease of liquid evaporation from sample surface and stabilization of its characteristics. Drying of samples was carried out in thermostatic hood at 55°C.

The values of transmission coefficient and voltage standing-wave ratio (VSWR) were measured in the frequency range from 8 to 12 GHz by panoramic measuring instruments with waveguide measuring system. The samples were placed between flanges of waveguide after calibration of system for transmission and reflection measurements. Then measured values of VSWR were used for calculation of reflection coefficients of obtained materials.

This work was carried out with financial support of Ministry of Education of Republic of Belarus (grant № 07-3097).

III. Conclusion

Samples with filler on the basis of starch demonstrated high attenuation of EMR generally due to its reflection (transmission coefficient S21 up to -17.8 dB at reflection coefficient S11 -1.2...-2.5 dB). The minimum reflection coefficient was obtained for matrix with filler from zirconium dioxide and starch. Adding of powders in starch decreases both reflection and transmission coefficients that may be used for future investigations.

Addition of shungit and TiO₂ in polyvinyl alcohol decreases EMR absorbing ability of shield on metal surface but ZrO₂ oppositely increases it.

Significant decrease of shielding efficiency of matrixes with gel and gel-powders filler was observed at full drying. But dried samples on the base of polyvinyl alcohol had shown lower reflection coefficient when reflection surface was used than non-dried samples or basic textile matrix. The lowers reflection coefficient was demonstrated by textile matrix with filler made from zirconium dioxide and polyvinyl alcohol located on reflection surface (S11_{ref} up to -6.9 dB). Dried samples practically did not lose its flexibility and solidity (powders did not peel at mechanical deformations).

It has been stressed as well that zirconium dioxide powder is one of the best component for addition into gel fillers of textile matrixes among other studied additives.

Научное издание

Наукове видання

17-я Международная
Крымская конференция «СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии»:
Материалы конференции
(на русском и английском языках,
обложка – на русском)

17-та Міжнародна
Кримська конференція «Мікрохвильова
техніка та телекомунікаційні технології»:
Матеріали конференції
(російською та англійською мовами
оболонка – російською)

Ответственный за издание
П. П. Ермолов

Відповідальний за видання
П. П. Єрмолов

Помощник отв. за издание
С. Н. Миняйло

Помічник відп. за видання
С. М. Міняйло

Компьютерный набор, верстка и обложка CD
М. В. Павлова

Комп'ютерний набір, верстка та оболонка CD:
М. В. Павлова

Редактирование текста
на английском языке
А. М. Черноморченко
А. П. Ермолов
С. В. Павлов

Редагування тексту
англійською мовою:
А. М. Черноморченко
А. П. Єрмолов
С. В. Павлов

Подписано в печать 02.06.2007
Формат А4
Уч.-изд. л. 112,7
Зак. 5-015

Підписано до друку 02.06.2007
Формат А4
Обл.-видавн. арк. 112,7
Зам. 5-015

Издательское предприятие «Вебер»
А/я 10, г. Севастополь, 99057
E-mail: 10.99057@gmail.com
Свидетельство ДК № 193 от 20.09.2000

Видавниче підприємство «Вебер»
А/с 10, м. Севастополь, 99057
E-mail: 10.99057@gmail.com
Свідоцтво ДК № 193 від 20.09.2000

УТВЕРЖДЕНО
Министерство образования
Республики Беларусь

« _____ » _____ г.
М.П.

Научное направление: электроника и радиотехника
(указывается наименование научного направления в соответствии с пунктом 6 Положения)

УТВЕРЖДЕНО
Ректор БГУИР

« _____ » _____ г.
М.П. Батура
М.П.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Проведения научно-исследовательской работы по гранту: Влияние растворных наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения

№ этапа	Наименование этапа	Срок выполнения	Стоим. работы, млн. руб.	Ожидаемые результаты и форма отчетности
07-00	Исследование влияния растворных наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения.	01.01.2007 - 31.12.2007	6,0	Получение экспериментальных сведений о радиопоглощающих свойствах (коэффициентов отражения, передачи и поглощения) гибких экранов с растворными наполнителями. Итоговый отчет.
07-01	Влияние солевых наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения.	01.01.2007 - 31.03.2007	1,0	Получение результатов по радиопоглощающим характеристикам гибких экранов с солевыми наполнителями. Аннотированный отчет.
07-02	Влияние комбинированных солевых наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения.	01.04.2007 - 30.06.2007	1,5	Получение результатов по радиопоглощающим характеристикам гибких экранов с комбинированными солевыми наполнителями. Аннотированный отчет.
07-03	Влияние кислотных наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения	01.07.2007 - 30.09.2007	1,5	Получение научных данных о радиопоглощающих характеристиках гибких экранов с кислотными наполнителями. Аннотированный отчет.
07-04	Влияние комбинированных наполнителей гибких радиопоглощающих материалов на эффективность подавления электромагнитного излучения.	01.10.2007 - 31.12.2007	2,0	Получение результатов о радиопоглощающих характеристиках гибких экранов с комбинированными наполнителями различной природы. Аннотированный отчет.

Соискатель гранта:

_____ О.И Зубаревич

Соискатель гранта:

_____ С.В. Головатая

«22» сентября 2006 г.

Научный руководитель (консультант)

_____ А.А. Позняк

«22» сентября 2006 г.