

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.372.853

**АЛЬ-ДИЛАМИ**  
**Ахмед Али Абдуллах**

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
АЛЮМИНИЯ И ЕГО ПОРИСТЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ ПАССИВНЫХ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность

Минск 2015

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Врублевский Игорь Альфонсович**, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ 5.3 учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Курмашев Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных информационных систем Минского института управления  
**Прудник Александр Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Опонирующая организация Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

Защита состоится «19» февраля 2015 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by, тел. 293-89-89.

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Наиболее эффективным, долговечным, экологически чистым и безвредным для пользователей является использование пассивных средств защиты информации от утечки по техническим каналам, а именно – экранирование электромагнитных излучений, создание систем экранирования помещений, в которых обрабатывается информация, и систем экранирования технических средств обработки информации и их компонентов. Многозначность и сложность задач, существующих в области информационной безопасности, требуют применения многофункциональных качественных экранированных объемов и конструкций, создание которых возможно только с использованием высокоэффективных экранирующих материалов.

Одним из перспективных направлений является создание экранов электромагнитного излучения на основе слоев пористого анодного оксида алюминия со встроенными углеродсодержащими соединениями. С одной стороны, анодный оксид алюминия – диэлектрик, который имеет пористую микроструктуру с контролируемыми параметрами, а с другой стороны, образцы, полученные в органических кислотах, могут содержать в своем составе аморфный углерод, который служит активной фазой для снижения коэффициента отражения электромагнитного излучения (ЭМИ).

Для эффективного экранирования ЭМИ и создания систем экранирования технических средств обработки информации на основе пористого анодного оксида алюминия необходимо установить закономерности взаимодействия ЭМИ с таким неоднородным диэлектриком и многослойными экранами на его основе, исследовать влияние углеродсодержащих включений, термической обработки и геометрических параметров отдельных слоев на экранирование в микроволновом и инфракрасном диапазонах длин волн.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами и темами**

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 474-о от 30 декабря 2011 г. и соответствует подразделам 5.5 «Методы, средства и технологии обеспечения информационной безопасности при обработке, хранении и передаче данных с использованием криптографии, квантово-криптографические системы» и 6.2 «Новые оптические, волоконно-оптические и нелинейно-оптические компоненты, материалы и покрытия, новые материалы для приборов функциональной микро-, опто-, нано- и СВЧ-электроники» приоритетных направлений научных исследований Рес-

публики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках государственной программы прикладных исследований шифр «Компомат», утвержденной постановлением Совета Министров Союзного государства № 46 от 12 декабря 2012 г. (с 2012 г. – по настоящий момент).

### **Цель и задачи исследования**

Целью настоящей работы является изучение эффективности новых конструкций экранов ЭМИ на основе алюминия и оксида алюминия пористого типа, исследование коэффициента отражения и ослабления ЭМИ и разработка рекомендаций по его использованию для систем защиты информации на широкоформатных панелях электромагнитных экранов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи.

1. Проанализировать состояние исследований и использования экранов ЭМИ на основе многослойных, композиционных и пористых диэлектрических материалов.

2. Методами компьютерного моделирования и экспериментальными исследованиями определить характеристики экранирования ЭМИ материалами на основе оксида алюминия пористого типа со встроенными углеродсодержащими соединениями.

3. Провести исследования влияния термообработки на изменение коэффициента отражения и ослабления ЭМИ анодного оксида алюминия с различным содержанием углеродсодержащих соединений.

4. Разработать многослойные конструкции на основе пористого оксида алюминия и исследовать влияние геометрических параметров отдельных слоев с целью оптимизации коэффициента отражения и ослабления в микроволновом диапазоне длин волн.

5. Разработать рекомендации по использованию алюминия с анодным оксидом пористого типа в качестве экранов ЭМИ в мобильных и стационарных объектах обработки информации.

### **Научная новизна**

Выполненные в работе исследования позволили получить совокупность новых знаний:

– установление возможности получения кластеров аморфного углерода инкорпорированного в анодный оксид алюминия путем термообработки остатков электролита анодирования в порогах анодного оксида;

– введение в конструкцию экрана электромагнитного излучения с ниобатом лития пористого анодного оксида алюминия толщиной 70 мкм с пленкой никрома на поверхности приводит к снижению коэффициента отражения до  $-11,5$  дБ в диапазоне частот  $6,0 \dots 18,0$  ГГц и появлению резонансных минимумов при  $9,2$  и  $12,0$  ГГц за счет интерференции волн, отраженных от различных слоев. Выбором толщины ниобата лития можно регулировать минимальные значения коэффициентов отражения электромагнитного излучения в частотном интервале  $7,0 \dots 16,0$  ГГц.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Совокупность экспериментальных данных, доказывающих снижение коэффициента отражения электромагнитного излучения и повышение стабильности характеристик экранирования, получаемых за счет включения углеродсодержащих соединений в состав пористого анодного оксида алюминия, что позволило достичь значений коэффициента отражения до  $-9,0$  дБ в частотном диапазоне  $8,0 \dots 12,0$  ГГц для экрана толщиной 70,0 мкм с удельным весом до  $350$  г/м<sup>2</sup> и установить верхнюю температуру  $550$  °С, до которой термообработка не изменяла свойств экранирования.

2. Экспериментальное обоснование способа получения тонких двухслойных пленок оксид тантала – пористый оксид алюминия для экранов электромагнитного излучения, включающих последовательное осаждение пленок тантала и алюминия, пористое анодирование пленки алюминия и последующее анодное окисление пленки тантала, применение которых для экранов электромагнитного излучения из алюминия позволило снизить коэффициент отражения до  $-3$  дБ в диапазоне частот  $8 \dots 12$  ГГц при сохранении весовых характеристик.

3. Экспериментальное обоснование конструкции многослойных экранов ЭМИ с использованием оксида алюминия в составе со стеклом и ниобатом лития, применение которых позволило достичь значений эффективности экранирования по ослаблению электромагнитного излучения до  $18$  дБ с коэффициентом отражения  $-10 \dots -35$  дБ в частотном диапазоне  $7,0 \dots 14,0$  ГГц.

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

В диссертации представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных автором лично и в соавторстве. Определение структуры, цели и задач работы, обсуждение и обобщение основных научных результатов исследования проводилось совместно с научным руководителем – кандидатом технических наук И. А. Врублевским. Автор самостоятельно получал пленки пористого анодного оксида алюминия со встроенными углеродсодержащими кластерами, осуществлял выбор методик исследования и принимал непосред-

ственное участие в разработке конструкций электромагнитных экранов на основе пористого оксида алюминия и исследовании их экранирующих характеристик. Исследование микроструктуры пленок анодного оксида алюминия выполнялось совместно с кандидатом физико-математических наук Е. В. Черняковой. Совместно с кандидатом технических наук В. Х. Видековым исследовались коэффициенты отражения и ослабление ЭМИ экспериментальных образцов и проводилось обсуждение полученных результатов. Автор принимал непосредственное участие в подготовке докладов, статей и патента.

#### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на XVII, XVIII Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Минск, Беларусь, 2012, 2013); IX Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, Беларусь, 2012); X, XI, XII Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Минск, Беларусь, 2012 – 2014); Международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, Беларусь, 2013); 15th International workshop on Nanoelectronics (Sofia, Bulgaria, 2013); XXIII Международной конференции «Автоматизация на дискретного производство» (Созопол, Болгария, 2014); Международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР» (Минск, Беларусь, 2014); XIX Международной научно-практической конференции «Комплексная защита информации», (Псков, Россия, 2014); 24-й Международной Крымской конференции (КрыМиКо'2014) «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, Россия, 2014).

#### **Опубликование результатов диссертации**

Материалы по теме диссертации опубликованы в 5 научных работах (2,9 авторских листа), соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, включая 5 статей в рецензируемых научных журналах в соавторстве.

Опубликовано 8 статей в сборниках материалов научных конференций, семинаров, 4 тезиса докладов в сборниках тезисов докладов конференций и семинаров и 1 заявка на патент Республики Беларусь на изобретение.

## **Структура и объем диссертации**

Общий объем диссертации составляет 130 страниц, из них 96 страниц основного текста, 60 рисунков на 32 страницах, 5 таблиц на 2 страницах, библиографический список из 124 источника, включая 17 собственных публикаций автора, на 12 страницах, 1 приложение на 2 страницах.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Во **введении** и в общей характеристике работы определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, а также показана необходимость проведения исследования в данной области.

В **первой главе** рассмотрены основные конструкции экранов ЭМИ и характеристики радиопоглощающих материалов, используемых для создания экранов. Показано, что экранирование электромагнитных волн является одним из самых действенных средств защиты объекта от утечки информации по электромагнитному каналу и основой экологической безопасности. Для создания благоприятной электромагнитной обстановки и обеспечения требований по электромагнитной безопасности объекта, которое включает себя противодействие несанкционированному допуску к информации с применением специальных технических средств, используются экраны для экранирования электромагнитных волн. К современным экранам ЭМИ предъявляются следующие требования: высокое поглощение электромагнитных волн в широком диапазоне частот, минимальное отражение, отсутствие выделения вредных веществ, негорючесть, небольшие габариты и вес.

Показано, что в зависимости от применяемых в конструкциях материалов можно выделить несколько групп экранов ЭМИ: экраны с использованием магнитных материалов и экраны с использованием немагнитных или диэлектрических материалов, комбинированные композиты. Для некоторых применений в качестве защитных экранов электромагнитного излучения используется стальной прокат, что вызывает большие трудности, связанные с эксплуатацией для мобильных источников информации таких экранов. Проведена оценка перспективности алюминия для этих целей, поскольку он широко представлен в современном строительстве, архитектуре, электронном материаловедении. Прокат из алюминия, тонкие пленки алюминия, формируемые на различных подложках, анодные оксиды алюминия представляют собой весьма перспективный объект для исследований в качестве материала для экранов электромагнитного излучения. В зависимости от целей применения ак-

туальным является изучение возможности применения анодного оксида алюминия пористого типа, формируемого методом анодирования широкоформатного проката алюминия, фольги для создания твердотельных конструкций экранов в составе с металлом (алюминий) и анодным оксидом пористого типа на его поверхности. При этом имеется возможность формирования материалов с различными коэффициентами отражения электромагнитных волн путем размещения в порах и на их поверхности различных материалов, включая наноструктурированные.

Для решения задач защиты информации от утечки по электромагнитному каналу необходимо разработать новые высокоэффективные экраны на основе пористого оксида алюминия и определить их характеристики экранирования.

Во второй главе обосновано использование оксида алюминия и алюминия в конструкциях электромагнитных экранов. Предложена и разработана методика получения пленок пористого анодного оксида алюминия со встроенными углеродсодержащими соединениями для создания экранов электромагнитного излучения. Для формирования пористого анодного  $Al_2O_3$  со встроенными углеродсодержащими соединениями (аморфный углерод в виде объемных полимерных углеродных структур) применялся метод электрохимического окисления алюминия в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты при постоянном напряжении анодирования 60 В и в 0,3 М водном растворе глюколевой кислоты при напряжении анодирования 180 В. Образование аморфного углерода, инкорпорированного в анодный оксид алюминия, обеспечивалось за счет последовательных реакций диссоциативной адсорбции, дегидрирования, декарбоксилирования, дегидроциклизации и поликонденсации оксалат- и гликолят-ионов, поступающих из объема электролита. Различные структурные изменения в анодном оксиде алюминия создавались за счет окисления аморфного углерода на поверхности и в порах  $Al_2O_3$  в процессе отжига в интервале температур 373...1273 К в муфельной печи Nabertherm (Германия) с электронным блоком управления В170. Приведены методики получения тонких пленок никрома, пленок тантала и алюминия на  $Al_2O_3$  для многослойных экранов электромагнитного излучения.

Разработана методика получения тонкого двухслойного покрытия  $Ta_2O_5$  – пористый оксид алюминия с использованием электрохимического окисления напыленной пленочной структуры Ta–Al, в которой  $Ta_2O_5$  характеризуется относительной диэлектрической проницаемостью 25.

Для измерений экранирующих характеристик исследуемых образцов экранов электромагнитного излучения использовали панорамный измеритель коэффициентов стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления с волноводным измерительным трактом. Коэффициенты отражения ЭМИ и передачи



для исследуемых экспериментальных образцов определялись в диапазоне частот 6...18 ГГц.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований характеристик экранов электромагнитного излучения на основе структур с оксидом алюминия.

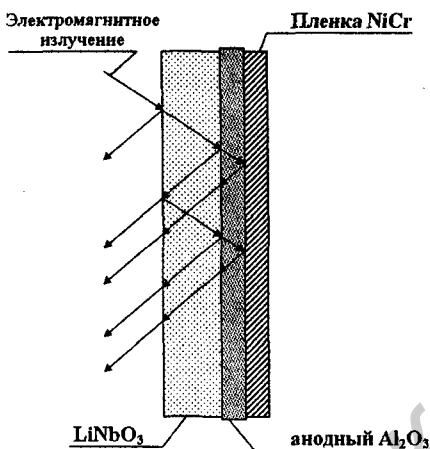
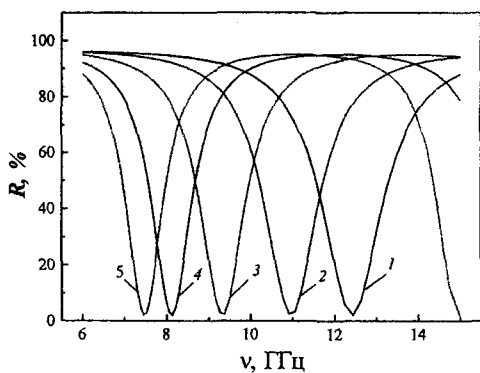


Рисунок 1. – Схема конструкции многослойного экрана ЭМИ

нялся в диапазоне длин волн 2,0...3,0 см. На рисунке 1 показана схема конструкции трехслойного экрана электромагнитного излучения. Моделировались частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ для трехслойной структуры, содержащей ниобат лития, оксид алюминия и тонкую пленку никрома, в зависимости от толщины ниобата лития в частотном диапазоне 6...16 ГГц (рисунок 2). Толщина ниобата лития выбиралась равной 0,7; 0,9; 1,2; 1,5 или 1,7 мм, для оптических постоянных задавались значения  $n = 9,0$  и  $k = 0,05$ . Толщина анодного оксида алюминия за-

для моделирования характеристик отражения ЭМИ многослойного экрана использовалась специальная программа для расчета отражающей способности структур, содержащих до пяти слоев в среде Eхе1. Данная программа с использованием рекуррентного метода разработана на кафедре электронной техники и технологии БГУИР. Расчет коэффициентов отражения и прозрачности для трехслойной структуры выпол-



1– толщина 0,7 мм; 2– толщина 0,9 мм; 3– толщина 1,2 мм; 4– толщина 1,5 мм; 5– толщина 1,7 мм.

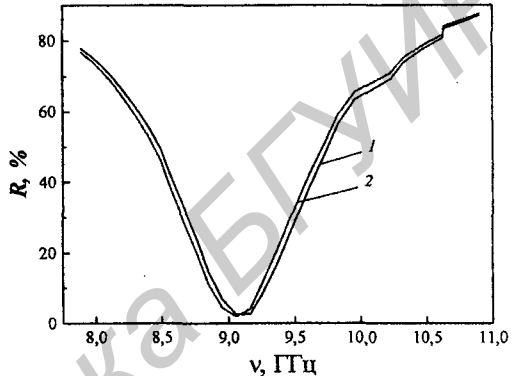
Рисунок 2. – Результаты расчета коэффициентов отражения ЭМИ для многослойной структуры (LiNbO<sub>3</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–NiCr) с различной толщиной

давалось равной 0,07 мм, для оптических постоянных использовались значения  $n = 2,82$  и  $k = 0,05$ . Для пленок нихрома толщина – 0,0005 мм, оптические постоянные  $n = 450,0$  и  $k = 0,5$ . Как показали результаты компьютерного моделирования, все частотные зависимости коэффициента отражения имели минимум коэффициента отражения на длине волны полуволнового резонанса. С увеличением толщины ниобата лития в многослойном экране положение минимума коэффициента отражения смещалось в низкочастотную область. Показано, что для толщины ниобата лития 0,7 мм резонансный минимум коэффициента отражения наблюдался на частоте 12,4 ГГц, для 0,9 мм – на частоте 11 ГГц, для 1,2 мм – на частоте 9,2 ГГц, для 1,5 мм – на частоте 8,1 ГГц и для 1,7 мм – на частоте 7,5 ГГц.

Изучено влияние толщины  $Al_2O_3$  на частотную зависимость коэффициента отражения многослойного экрана на примере двух толщин: 70 и 140 мкм. Результаты расчета приведены на рисунке 3. Установлено, что при увеличении толщины  $Al_2O_3$  резонансный минимум менялся незначительно от 9,2 до 9,1 ГГц без изменения амплитуды.

Результаты компьютерного моделирования характеристик многослойного экрана ЭМИ показали возможность точного определения положения резонансного минимума коэффициента отражения, соответствующего полуволновому резонансу. При этом выбором толщины ниобата лития в экране, состоящем из ниобата лития и анодного оксида алюминия с напыленной пленкой нихрома, можно изменять положение резонансного минимума коэффициента отражения и за счет этого управлять характеристиками экранирования. Разброс в толщине оксида алюминия, согласно результатам компьютерного моделирования, не приводил к смещению резонансного минимума коэффициента отражения ЭМИ.

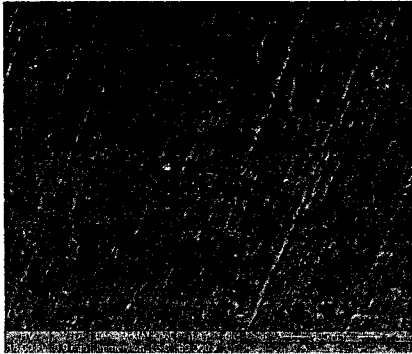
Приведены результаты исследований характеристик экранов электромагнитного излучения на основе анодного оксида алюминия с углеродсодержащим включением.



1– $Al_2O_3$ , толщина 70 мкм, 2– толщина 140 мкм

Рисунок 3. – Расчетные частотные зависимости коэффициентов отражения (%) для многослойного экрана ниобат лития – оксид алюминия со слоем нихрома для различной толщины оксида

С помощью сканирующей электронной микроскопии установлено, что пленки анодного оксида алюминия, полученные в электролите на основе щавелевой кислоты, обладали



**Рисунок 4.** – Морфология поверхности пленки пористого анодного оксида алюминия, сформированной в 0,3 М растворе щавелевой кислоты с постоянной плотностью тока  $60,0 \text{ А м}^{-2}$

упорядоченной пористой структурой (рисунок 4). Результаты обработки снимков показали, что микроструктура пленок имеет среднее значение межпористого расстояния 102 нм и среднее значение диаметра пор 42 нм. Исходные пленки анодного оксида алюминия с углеродсодержащими включениями имели относительно низкий показатель отражения  $-7 \text{ дБ}$  в диапазоне частот от 8 до 12 ГГц. Термообработка образцов при температуре  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  не приводила к увеличению коэффициента отражения ЭМИ. После термообработки при  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  наблюдалось заметное повышение коэффициента отражения до  $-5,5 \text{ дБ}$ , что могло быть связано с полным разложением и окислением углеродсодержащих остатков щавелевой кислоты. Наибольшее ослабление для пленок анодного оксида алюминия с углеродсодержащими включениями наблюдалось в диапазоне частот  $8,0 \dots 9,5 \text{ ГГц}$ , что является характерным для поглощения ЭМИ углеродсодержащими материалами. С повышением температуры термообработки уровень ослабления возрастал незначительно и достигал максимального значения  $3,7 \text{ дБ}$  при  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ . Полученное значение коэффициента отражения  $-9 \text{ дБ}$  позволяет рассматривать пленки пористого анодного оксида алюминия, сформированные в водном растворе щавелевой кислоты, как перспективный материал для создания экранов электромагнитного излучения. Обнаружены общие закономерности изменения коэффициента отражения и пропускания ЭМИ для пористых пленок оксида алюминия, сформированных в гликолевой и щавелевой кислотах, с повышением температуры отжига. Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что в реализованных режимах синтеза в водном растворе гликолевой кислоты пленки анодного оксида алюминия имели упорядоченную ячеисто-пористую структуру с порами диаметром приблизительно 34 нм (рисунок 5).

Показано, что исходные образцы характеризовались высоким  $K_{отр}$ , приблизительно равным  $-0,5$  дБ. На всех частотных зависимостях коэффициента отражения отожженных и исходных пленок присутствовали участки с резонансным уменьшением отражения на частоте приблизительно  $9,0$  ГГц. Отжиг анодных пленок при  $800$  и  $850$  °С приводил к значительному уменьшению  $K_{отр}$ , до значений не менее  $-2,5$  дБ. Максимальное ослабление ЭМИ имели исходные анодные пленки, в среднем не менее  $4$  дБ, что было связано с присутствием химически связанной воды в пористом анодном  $Al_2O_3$ .

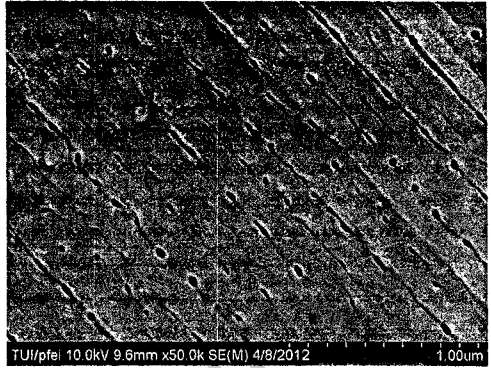
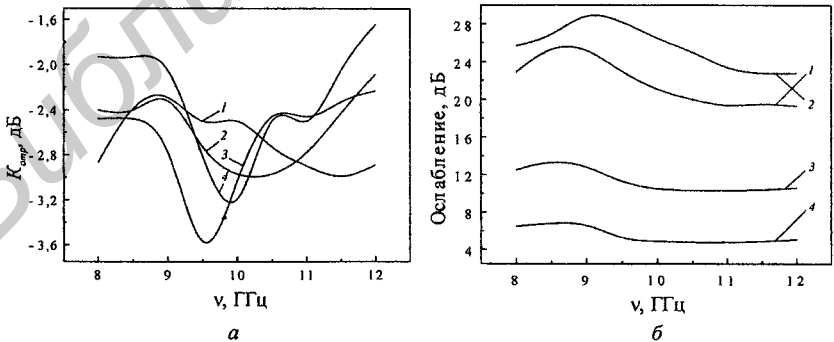


Рисунок 5. – Поверхность пленки пористого анодного оксида алюминия, сформированной в  $0,3$  М растворе гликолевой кислоты при  $180$  В

Изучены экранирующие характеристики пленок анодного оксида алюминия с радиопоглощающей пленкой нихрома (рисунок 6). Установлено, что при отражении электромагнитного излучения имело место резкое уменьшение уровня отражения из-за резонанса. Максимальное ослабление показали образцы анодного оксида алюминия с пленкой нихрома поверхностным сопротивлением  $10$  Ом/□ и  $30$  Ом/□, уровень ослабления для которых достигал значений  $24$  и  $28$  дБ соответственно.



*a* – коэффициент отражения ЭМИ; *b* – ослабление ЭМИ

1 – пленка нихрома  $10$  Ом/□; 2 – пленка нихрома  $30$  Ом/□;

3 – пленка нихрома  $70$  Ом/□; 4 – пленка нихрома  $140$  Ом/□

Рисунок 6. – Зависимости коэффициентов отражения ЭМИ и ослабления для структур анодный оксид алюминия – нихром с анодным оксидом алюминия толщиной  $140$  мкм

Представлены результаты исследований частотных зависимостей коэффициента отражения и ослабления многослойного экрана ЭМИ, состоящего из ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ) и пористого анодного оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) с пленкой нихрома различной толщины. Двухслойный экран, содержащий ниобат лития и пористый  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , характеризовался высоким коэффициентом отражения ЭМИ, приблизительно равным  $-0,5$  дБ в диапазоне частот  $8 \dots 12$  ГГц. Нанесение тонких пленок нихрома на поверхность пористых пленок анодного оксида алюминия позволило снизить  $K_{\text{отр}}$ , что улучшило характеристики многослойного экрана. Наиболее значительное влияние на отражающие характеристики оказало нанесение пленки нихрома с поверхностным сопротивлением  $27,4$  и  $12,4$  Ом/□. В этих случаях  $K_{\text{отр}}$  снизился соответственно до  $-3,5$  и  $-7$  дБ. Характеристики ослабления экрана с пленками нихрома такой толщины имели значения приблизительно  $20$  и  $22$  дБ соответственно.

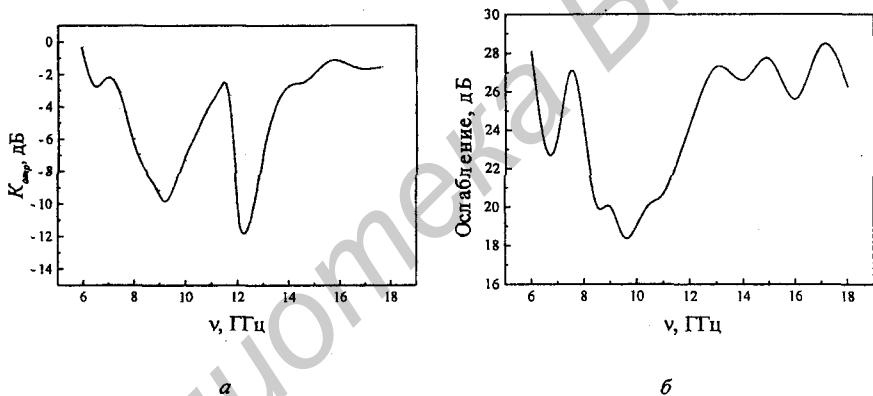
Проведено исследование характеристик ослабления и отражения электромагнитного излучения экраном оксид алюминия – стекло. Показано, что как стекло, так и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  по отдельности не имеют хороших экранирующих характеристик. В случае использования двухслойных структур стекло – оксид алюминия с тонким слоем алюминия характеристики отражения и пропускания ЭМИ изменились. Минимальное значение коэффициента отражения  $R < -10$  дБ в диапазоне  $8-12$  дБ имел многослойный экран со стеклом толщиной  $2$  мм. Для стекла толщиной  $1$  мм и  $4$  мм многослойный экран показал коэффициенты отражения  $R > -7$  дБ и  $R > -3$  дБ соответственно. Ославление ЭМИ образцом с толщиной стекла  $1$  мм было не менее  $13$  дБ.

Установлено, что тонкое двухслойное покрытие  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -пористый оксид алюминия имеет коэффициент отражения ЭМИ не более  $-2,7$  дБ и ослабление не менее  $11$  дБ в диапазоне частот от  $8,0$  до  $12,0$  ГГц. Сделан вывод, что применение таких покрытий может снизить коэффициент отражения ЭМИ металлических экранов и, таким образом, расширить области их применения.

**Четвертая глава** посвящена разработке конструкций экранов электромагнитного излучения на основе оксида алюминия и рекомендаций по их применению.

Представлена схема процесса формирования пористого анодного оксида алюминия для экранов ЭМИ. Последовательность операций разработанного процесса включает операции подготовки поверхности и электрохимической полировки исходной алюминиевой фольги марки А99 (ГОСТ 11069-74, ГОСТ 25905-83) толщиной  $100$  мкм, маскирования химически стойким лаком (ХСЛ) одной из сторон алюминиевой фольги, электрохимического анодирования алюминия, химического удаления слоя ХСЛ, селективного химического травления алюминия и контроля качества.

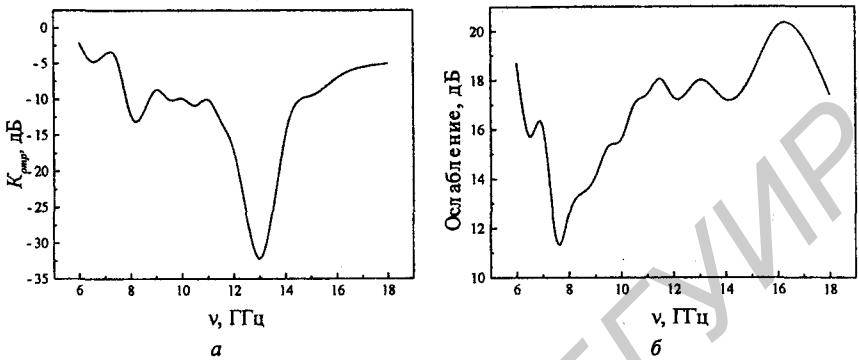
Предложена конструкция многослойного экрана электромагнитного излучения в составе ниобат лития, пористый анодный  $Al_2O_3$  с пленкой нихрома. Показано, что напыление пленок нихрома с удельным поверхностным сопротивлением менее  $27,4 \text{ Ом}/\square$  на поверхность анодного оксида алюминия при использовании в конструкции многослойного экрана в составе  $LiNbO_3$  и пористого  $Al_2O_3$  приводит к перераспределению волновой энергии. В результате коэффициент отражения ЭМИ уменьшается с одновременным увеличением ослабления ЭМИ. Для экрана в составе ниобата лития (толщина 1,2 мм), пористого анодного  $Al_2O_3$  (толщина 70 мкм) с пленкой нихрома удельным поверхностным сопротивлением  $12,4 \text{ Ом}$  в диапазоне частот 6... 18 ГГц ослабление ЭМИ достигает значения до 24 дБ, а коэффициент отражения в диапазоне частот 8... 13 ГГц снижается до  $-11,5 \text{ дБ}$  (рисунок 7).



а – коэффициент отражения ЭМИ; б – ослабление ЭМИ

Рисунок 7. – Частотные зависимости коэффициента отражения и ослабления экрана ЭМИ со структурой  $LiNbO_3-Al_2O_3$  с тонким слоем нихрома

Предложено использовать двухслойную структуру стекло – оксид алюминия с тонким слоем алюминия в конструкциях экранов электромагнитного излучения. Показано, что минимальное значение коэффициента отражения (не более  $-10 \text{ дБ}$ ) в диапазоне 8...12 дБ имела структура при использовании стекла толщиной 2 мм. Для стекла толщиной 1 мм и 4 мм двухслойная структура показала коэффициенты отражения не более  $-7 \text{ дБ}$  и  $-3 \text{ дБ}$  соответственно. Ослабление ЭМИ образцом с толщиной стекла 1 мм было не менее 13 дБ. Частотные зависимости коэффициента отражения и ослабления для экрана ЭМИ, содержащего стекло, толщиной 2 мм и  $Al_2O_3$ , толщиной 1 мм с пленкой алюминия толщиной 0,5 мкм, показаны на рисунке 8.



**а** – коэффициент отражения ЭМИ; **б** – ослабление ЭМИ

**Рисунок 8.** – Частотные зависимости коэффициента отражения и ослабления экрана ЭМИ со структурой стекло-  $Al_2O_3$  с тонкой пленкой алюминия

Данный экран имел значение коэффициента отражения не более  $R < -10$  дБ в диапазоне частот от 7,5 до 15 ГГц. В области частот 11,0...15,0 ГГц на зависимости наблюдался эффект резонансного уменьшения коэффициента отражения с минимальным значением  $R = -33$  дБ при 13 ГГц.

Для создания экранированных объемов зданий и помещений предложены конструкции стеновых панелей электромагнитно-акустической защиты информации с многослойными экранами с использованием проката из анодированного алюминия. Коэффициент передачи для разработанных панелей электромагнитно-акустической защиты информации с использованием проката из анодированного алюминия достигал значений  $-40...-45$  дБ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц и  $-15...-35$  дБ в диапазоне частот 2...17 ГГц. Величина коэффициента отражения ЭМИ панелей в указанных диапазонах лежит в пределах  $-2,5...-3,4$  дБ и  $-4,5...-7,9$  дБ соответственно для лицевой стороны и  $-0,2...-1$  дБ и  $-0,1...-3$  дБ для обратной стороны. Многослойная конструкция панели в составе гипсокартон – битумно-мастичная композиция STP Vimar Bomb – анодированный алюминий – ткань с ферромагнитным микропроводом позволила обеспечить звукоизоляцию до  $-42$  дБ в частотном диапазоне 100 Гц – 10,0 кГц.

Для пленок пористого анодного оксида алюминия исследованы ИК-спектры поглощения и влияние маски из пористого анодного оксида алюминия на визуализацию объекта с тепловыми точками на экране неохлаждаемого тепловизора. Применение масок из пленок пористого оксида алюминия резко снижало прохождение теплового излучения от источников тепла и уменьшало температуру тепловых точек с 43 до 32 °С. Показано, что пленки пористого анодного оксида алюминия эффективно рассеивают и поглощают

ИК-излучение длиной волны 8...14 мкм и могут быть использованы в качестве маскирующего покрытия. В результате нагретый объект на тепловом фоне теряет контрастность и становится малозаметным.

В приложении представлены акты использования и внедрения результатов диссертационной работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что углеродсодержащий анодный оксид алюминия, полученный в электролите на основе водного раствора щавелевой кислоты, с упорядоченной пористой структурой и перпендикулярным расположением пор относительно поверхности образца (диаметр пор порядка 42 нм и межпористое расстояние 102 нм), показал стабильность характеристик экранирования вплоть до температур отжига 550 °С. Ослабление ЭМИ анодным оксидом алюминия с углеродсодержащими включениями (толщина 70 мкм) достигало значений  $-3,7...-2$  дБ с коэффициентом отражения  $-9...-6$  дБ в частотном диапазоне 8,0...12,0 ГГц. Выявлено, что изменение характеристик экранирования после отжига при 600 °С и выше связано с разложением и окислением углеродсодержащих соединений в оксиде алюминия [1, 6, 7, 9, 14, 15, 16, 17].

2. Показано, что напыление пленок нихрома с удельным поверхностным сопротивлением менее 27,4 Ом/□ на поверхность анодного оксида алюминия при использовании в конструкции многослойного экрана в составе  $\text{LiNbO}_3$  и пористого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  приводит к перераспределению волновой энергии. В результате коэффициент отражения ЭМИ уменьшается с одновременным увеличением ослабления ЭМИ. Для экрана в составе ниобата лития (толщина 1,2 мм), пористого анодного  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (толщина 70 мкм) с пленкой нихрома с удельным поверхностным сопротивлением 12,4 Ом в диапазоне частот 6...18 ГГц ослабление ЭМИ достигает значения до 24 дБ, а коэффициент отражения в диапазоне частот 8...13 ГГц снижается до  $-11,5$  дБ [2, 3, 13].

3. Компьютерное моделирование характеристик многослойного экрана электромагнитного излучения в составе ниобата лития, оксида алюминия и пленки нихрома на основе их оптических параметров и толщин слоев показало возможность определения положения резонансного минимума для зависимости коэффициента отражения ЭМИ от частоты. Выявлено, что с помощью выбора толщины ниобата лития в интервале значений 0,7...1,7 мм в конструкции многослойного экрана в составе ниобата лития и оксида алюминия с тонкой пленкой нихрома можно регулировать положение резонансного минимума для коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 7,0...13,0 ГГц. Обнаружено, что разброс в толщине слоя оксида алюминия, согласно результа-



там компьютерного моделирования, не приводит к смещению резонансного минимума коэффициента отражения ЭМИ для предложенного многослойного экрана [4, 8, 10, 11].

4. Предложено использовать двухслойную структуру стекло – оксид алюминия с тонким слоем алюминия в конструкциях экранов электромагнитного излучения. Показано, что минимальное значение коэффициента отражения (не более  $-10$  дБ) в диапазоне  $8...12$  дБ имела структура при использовании стекла толщиной  $2$  мм. Для стекла толщиной  $1$  мм и  $4$  мм двухслойная структура показала коэффициенты отражения не более  $-7$  дБ и  $-3$  дБ соответственно. Ослабление ЭМИ образцом с толщиной стекла  $1$  мм было не менее  $13$  дБ [12, 16].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов.**

1. Разработана лабораторная технология получения пористого анодного оксида алюминия для экранов электромагнитного излучения на основе процесса электрохимического анодирования проката или фольги алюминия в водном растворе щавелевой кислоты с концентрацией  $0,5$  М и температурой электролита  $16...18$  °С. Предложена конструкция многослойного экрана электромагнитного излучения в составе ниобат лития (толщина  $1,2$  мм), пористый анодный  $Al_2O_3$  (толщина  $70$  мкм) с пленкой нихрома с удельным поверхностным сопротивлением  $12,4$  Ом/кв. Показано, что в диапазоне частот  $6...18$  ГГц ослабление ЭМИ достигает значения до  $24$  дБ, а коэффициент отражения в диапазоне частот  $8...13$  ГГц снижается до  $-11,5$  дБ.

2. Разработана конструкция многослойного экрана электромагнитного излучения в составе стекло (толщина  $2$  мм) и оксид алюминия (толщина  $1$  мм) с пленкой алюминия толщиной  $0,5$  мкм. Установлено, что коэффициент отражения ЭМИ достигает значения не более  $-10$  дБ, а ослабление не менее  $16$  дБ в диапазоне частот от  $7,5$  до  $15$  ГГц.

3. Предложены конструкции стеновых панелей электромагнитно-акустической защиты информации с многослойными экранами с использованием проката из анодированного алюминия для создания экранированных объемов зданий и помещений. Коэффициент передачи для разработанных панелей электромагнитно-акустической защиты информации с использованием проката из анодированного алюминия достигает значений  $-40...-45$  дБ в диапазоне частот  $0,7...2$  ГГц и  $-15...-35$  дБ в диапазоне частот  $2...17$  ГГц. Величина коэффициента отражения ЭМИ панелей в указанных диапазонах лежит в пределах  $-2,5...-3,4$  дБ и  $-4,5...-7,9$  дБ соответственно для лицевой стороны и  $-0,2...-1$  дБ и  $-0,1...-3$  дБ для обратной стороны. Многослойная конструкция панели в составе гипсокартон – битумно-мастичная композиция STP Vimast Bomb – анодированный алюминий – ткань с ферромагнитным микропроводом

позволила обеспечить звукоизоляцию до  $-42$  дБ в частотном диапазоне  $100$  Гц– $10,0$  кГц.

4. Разработана методика получения тонкого двухслойного покрытия  $Ta_2O_5$ – пористый оксид алюминия с использованием электрохимического окисления напыленной пленочной структуры Ta–Al, в которой  $Ta_2O_5$  характеризуется относительной диэлектрической проницаемостью 25. Показано, что тонкое двухслойное покрытие  $Ta_2O_5$  – пористый оксид алюминия имеет коэффициент отражения ЭМИ не более  $-2,7$  дБ и ослабление не менее  $11$  дБ в диапазоне частот от  $8,0$  до  $12,0$  ГГц.

5. Показано, что слой пористого анодного оксида алюминия толщиной не менее  $70$  мкм может быть предложен для использования в качестве теплозащитного экрана для сглаживания контраста тепловых излучений объекта и окружающего фона и для повышения эффективности тепловой маскировки объектов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Электромагнитные экранирующие свойства пористых матриц на основе анодного оксида алюминия / К.В. Чернякова, Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, Г.А. Пухир // Изв. Гомельс. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2014. – Т. 84, № 3. – С. 156–159.

2. Поглощение энергии электромагнитного излучения в интерференционных диэлектрических структурах с нанопористым оксидом алюминия / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир // Проблемы физики, математики и техники. – 2014. – Т. 19, № 2. – С. 96–99.

3. Слоистые поглотители электромагнитного излучения с анодным оксидом алюминия и тонкой пленкой металла / И. Врублевский, К. Чернякова, В. Видеков, Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами // Научни известия на НТСМ, България, 2014. – Т. XXII, № 4 (153). – С. 168–173.

4. Компьютерное моделирование и исследование характеристик отражения резонансных диэлектрических структур для электромагнитных экранов / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, В.Х. Видеков // Доклады БГУИР. – 2014. – Т. 83, № 5. – С. 95–100.

5. IR-radiation absorbance in the medium wavelength range by nanostructured anodic alumina membranes / Igor Vrublevsky, K. Chernyakova, V. Videkov, Al-Dilami Ahmed // J. Nanoscience & Nanotechnology. – 2014.– № 14.– P. 180–182.

**Статьи в сборниках материалов научных конференций**

6. Исследование экранирующих свойств пористых матриц на основе анодного оксида алюминия / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир // Современные средства связи: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 окт. 2012 г. / ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2012. – С. 154–156.

7. Пухир, Г.А. Влияние высокотемпературной обработки тонкопленочных углеродосодержащих покрытий металлических экранов электромагнитного излучения на их защитные свойства / Г.А. Пухир, Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами // Управление информационными ресурсами: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Минск. – 2012. – С. 90–91.

8. Исследование экранирующих свойств пористых матриц на основе анодного оксида алюминия / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир // Современные средства связи: материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 окт. 2013 г. / ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2013. – С. 158.

9. Влияние отжига на экранирующие характеристики мембран нанопористого оксида алюминия / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, апрель–сентябрь 2013 г. – Минск, 2013. – С. 70–74.

10. Спектры отражения и прохождения электромагнитного излучения слоистых структур с тонкой пленкой металла / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир, И.А. Забелина // Междунар. науч.-техн. конф., приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР, Минск, 18–19 марта 2014 г. / БГУИР. – Минск, 2014. – С. 362–363.

11. Исследование резонансного отражения электромагнитного излучения структурами анодный оксид алюминия – тонкая пленка металла / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир, В.Х. Видеков // Междунар. науч.-техн. конф., приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР, Минск, 18–19 марта 2014 г. / БГУИР. – Минск, 2014. – С. 364–365.

12. Электромагнитные характеристики радиопоглощающих двухслойных структур стекло –  $Al_2O_3$  с тонкой пленкой алюминия / Аль-Дилами Ахмед Али Абдуллах, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Д.В. Горбачев // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 24 Междунар. Крымская конф. (КрыМиКо'2014), Севастополь, 8–13 сентября 2014 г. – Севастополь. – С 708–709.

### Тезисы докладов на научных конференциях

13. Нанокompозитные пленки анодного оксида алюминия с кобальтовыми нанопроволоками для экранирования электромагнитного излучения / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир // Технические средства защиты информации: материалы X Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 мая 2012 г. / БГУИР. – Минск, 2012. – С. 64–65.

14. Экранирующие свойства углеродсодержащего анодного оксида алюминия в диапазоне СВЧ / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова, Г.А. Пухир // Технические средства защиты информации: материалы XI Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР. – Минск, 2013. – С. 59–60.

15. IR-radiation absorbance in the medium wavelength range by nanostructured anodic alumina membranes / I. Vrublevsky, K. Chemyakova, V. Videkov, AI-Dilami Ahmed // 15th International Workshop On Nanoscience & Nanotechnology, Sofia, Bulgaria, 21–23 November 2013. – С. 104.

16. Аль-Дилами, Ахмед Али Абдуллах. Радиопоглощающие слоистые структуры с внутренним слоем оксида алюминия и тонкой пленкой алюминия / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами // Технические средства защиты информации: материалы XI Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 мая 2014 г. / БГУИР. – Минск, 2014. – 44 с.

### Патент

17. Способ интерференционного окрашивания анодированного алюминия в черный цвет: заявка на изобретение № а20131027 Респ. Беларусь, МПК G 01 N 27/12 / Ахмед Али Абдуллах Аль-Дилами, И.А. Врублевский, К.В. Чернякова; заявитель Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; заявл. 27.08.2013.



## РЭЗІЮМЭ

Аль-Діламі Ахмед Алі Абдулах

**Экраны электрамагнітнага выпраменьвання на аснове алюмінія і яго порыстых аксідаў для пасіўных тэхнічных сродкаў абароны інфармацыі**

**Ключавыя словы:** абарона інфармацыі, тэхнічныя каналы ўцечкі інфармацыі, экран электрамагнітнага выпраменьвання, анодны аксід алюмінія, вугляродзмяшчальныя ўключэнні, алюміній, сценавыя панэлі электрамагнітна-акустычнай абароны інфармацыі.

**Мэта працы:** даследаванне эфектыўнасці новых канструкцый экранаў ЭМВ для забеспячэння інфармацыйнай бяспекі ад уцечкі па электрамагнітнаму і акустычным каналах на аснове алюмінія і аксіду алюмінія порыстага тыпу з розным утрыманнем вугляродзмяшчальных уключэнняў.

**Метады даследавання і скарыстанне абсталявання:** паверхню і папярочнае сячэнне плёнак порыстага аноднага  $Al_2O_3$ , сфарміраваных у растворах арганічных кіслот, вывучалі з дапамогай сканавальнага электроннага мікраскопа JSM 840A (JEOL), характарыстыкі паслаблення і каэфіцыента адлюстравання ЭМВ даследаваліся ў ЗВЧ-дыяпазоне з выкарыстаннем панарамнага вымяральніка SNA 0,01-18, для вымярэння КСХН і паслаблення ў дыяпазонах 6...18 ГГц выкарыстоўваўся генератар хістальнай частаты ГХЧ-61, спектры прапускання ў сярэднім ВК-дыяпазоне порыстага аноднага  $Al_2O_3$  запісвалі на ВК-Фур'е-спектрометры Vertex 70 (Bruker) на паветры са спектральным дазволам  $0,5 \text{ см}^{-1}$ , рэгістрацыя цеплавога выпраменьвання пры маскіраванні плёнкай порыстага аноднага  $Al_2O_3$  праводзілася з дапамогай цеплавізійнай камеры MobIR M4.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацавана лабараторная тэхналогія атрымання порыстага аноднага аксіду алюмінія, у якім за кошт увядзення ў склад вугляродзмяшчальных уключэнняў забяспечана зніжэнне каэфіцыента адлюстравання электрамагнітнага выпраменьвання і павышэнне стабільнасці характарыстык экраніравання, прапанаваны і эксперыментальна абгрунтаваны новыя канструкцыі сценавых панэляў электрамагнітна-акустычнай абароны інфармацыі з шматслойнымі экранамі з выкарыстаннем пракату з анадзіраванага алюмінія, якія могуць быць выкарыстаны для стварэння экранаваных аб'ёмаў будынкаў і памяшканняў.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні:** вынікі дысертацыйнай працы выкарыстаны пры распрацоўцы экранаў электрамагнітнага выпраменьвання ў НДЛ 5.3 НДЧ БДУІР і ў навучальным працэсе БДУІР.

**Вобласць прымянення:** інфармацыйная бяспека.

## РЕЗЮМЕ

Аль-Дилами Ахмед Али Абдуллах  
**Экраны электромагнитного излучения  
на основе алюминия и его пористых оксидов  
для пассивных технических средств защиты информации**

**Ключевые слова:** защита информации, технические каналы утечки информации, экран электромагнитного излучения, пористый анодный оксид алюминия, углеродсодержащие включения, алюминий, стеновые панели электромагнитно-акустической защиты информации.

**Цель работы:** исследование эффективности новых конструкций экранов ЭМИ для обеспечения информационной безопасности от утечки по электромагнитному и акустическим каналам на основе алюминия и оксида алюминия пористого типа с различным содержанием углеродсодержащих включений.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** поверхность и поперечное сечение пленок пористого анодного  $Al_2O_3$ , сформированных в растворах органических кислот, изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 840A (JEOL), характеристики ослабления и коэффициента отражения ЭМИ исследовались в СВЧ-диапазоне с использованием панорамного измерителя SNA 0,01-18, для измерения КСВН и ослабления в диапазонах 6...18 ГГц использовался генератор качающейся частоты ГКЧ-61, спектры пропускания в среднем ИК-диапазоне пористого анодного  $Al_2O_3$  записывали на ИК-Фурье-спектрометре Vertex 70 (Bruker) на воздухе со спектральным разрешением  $0,5 \text{ см}^{-1}$ , регистрация теплового излучения при маскировании пленкой пористого анодного  $Al_2O_3$  проводилась с помощью тепловизионной камеры MobIR M4.

**Полученные результаты и их новизна:** разработана лабораторная технология получения пористого анодного оксида алюминия, в котором за счет введения в состав углеродсодержащих включений обеспечено снижение коэффициента отражения электромагнитного излучения и повышение стабильности характеристик экранирования, предложены и экспериментально обоснованы новые конструкции стеновых панелей электромагнитно-акустической защиты информации с многослойными экранами с использованием проката из анодированного алюминия, которые могут быть использованы для создания экранированных объемов зданий и помещений.

**Рекомендации по использованию:** результаты диссертационной работы использованы при разработке экранов электромагнитного излучения в НИЛ 5.3 НИЧ БГУИР и в учебном процессе БГУИР.

**Область применения:** информационная безопасность.

**SUMMARY**

Al-Dilami Ahmed Ali Abdullah

**Shields of electromagnetic radiation based on aluminum and its porous oxides for passive technical means of information protection**

**Keywords:** information protection, technical channels of information leakage, shields of electromagnetic radiation, porous anodic alumina, carbon inclusions, aluminum, wall panels of information electromagnetic-acoustic protection.

**The purpose of the work:** To study the effectiveness of new designs of EMR shields for information protection against leakage via electromagnetic and acoustic channels on the basis of aluminum and porous alumina with different content of carbon-containing inclusions.

**Research methods and equipment:** The surface and cross section of porous anodic alumina films, formed in solutions of organic acids were studied using a scanning electron microscope JSM 840A (JEOL), and characteristics of the attenuation and the reflection coefficient of EMR in the microwave region using a panoramic measure SNA 0,01-18 were investigated, for measuring of standing wave ratio and attenuation in the range of 6 ... 18 GHz a generator of the frequency sweep 61 was used, the transmission spectra in the middle IR range of porous anodic alumina were recorded on a FTIR spectrometer Vertex 70 (Bruker) in the air with a spectral resolution of  $0,5 \text{ cm}^{-1}$ , registration of thermal radiation at masking with the use of porous anodic alumina was carried out by a thermal imaging camera MobIR M4.

**The results obtained and their novelty:** laboratory technology for fabrication of porous anodic alumina was tailored, that due to the introduction of the carbon-containing inclusions is ensured the reduction of the reflection coefficient of electromagnetic radiation and increasing the stability of characteristics of the shielding, the new design of wall panels electromagnetic-acoustic information protection with multilayer shields using rolled anodized aluminum, which can be used to create volume shielded buildings and spaces was proposed and experimentally proved.

**Recommendations for usage:** results of the thesis were used in the development of shields of electromagnetic radiation in the laboratory 5.3 R&D Dep. BSUIR and in the educational process at BSUIR.

**Application area:** information protection.

*Научное издание*

**Аль-Дилами Ахмед Али Абдуллах**

**ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
АЛЮМИНИЯ И ЕГО ПОРИСТЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ ПАССИВНЫХ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Специальность 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность**

---

Подписано в печать 14.01.2015.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ 12.

---

**Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».**

**Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,**

**№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014**

**ЛП №02330/264 от 14.04.2014.**

**220013, Минск, П. Бровки, 6**