

АРСЕНАЛ ОТЕЧЕСТВА



АРМЕЙСКИЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ ИГРЫ 2015
СОЗДАНИЕ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ РОССИИ
АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ РФ
КОСМОДРОМ ВОСТОЧНЫЙ. ОБЩЕНАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

СОЗДАТЕЛИ НАДЕЖНОЙ МАСКИРОВКИ



АО «Центральное конструкторское бюро специальных радиоматериалов» (ЦКБ РМ), которое с 2012 года возглавляет генеральный директор Валерий Анатольевич Буробин, более 45 лет является ведущим предприятием ОПК России в области радиоэлектронного материаловедения. В ЦКБ РМ ведутся успешные работы по многим темам. Одна из них — создание инновационных материалов для высокоэффективных поглотителей и экранов электромагнитных волн. Об этом направлении рассказывают заместитель генерального директора по научной работе Елена Николаевна Хандогина и главный конструктор Дмитрий Николаевич Владимиров.



Генеральный директор
Валерий Анатольевич Буробин

Большой практический опыт, накопленный специалистами предприятия, позволяет и проводить совместные работы, учитывающие прогресс фундаментальной науки и производственный опыт отраслевого предприятия, и реально внедрять перспективные разработки. В ЦКБ РМ, образованном в 1969-м году, разрабатываются и производятся поглотители и экраны электромагнитных волн военного и промышленного назначения.

При разработке и создании поглощающих и экранирующих материалов необходимо учитывать не только анализ процессов, происходящих в материале при падении на него электромагнитной волны (ЭМВ), но множество различных эксплуатационных факто-

ров, зависящих, в том числе и от предназначения таких материалов. Взаимодействие падающей ЭМВ с веществом описывается несколькими различными процессами — отражением, прохождением, поглощением, рассеянием, а также вторичным переотражением от задней поверхности поглощающего материала.

Основная задача, решаемая с помощью применения поглощающих материалов — это преобразование энергии падающей ЭМВ в другие виды энергии. Материалы при этом могут быть совершенно разные — диэлектрические, например, полимерные, композиционные — с металлическими или другими проводящими включениями, магнитные, из которых наиболее известными являются ферриты и другие. Та часть энергии падающей ЭМВ, которая поглощается в материале, в электропроводящих материалах приводит к возникновению вихревых токов и, соответственно, к переходу энергии в тепло. В магнито-диэлектриках поглощение энергии ЭМВ происходит за счет магниторезистивных, диэлектрических потерь и наведение слабых токов. В ферритах основное поглощение происходит благодаря явлению ферромагнитного резонанса.

Поглотитель электромагнитных волн должен обеспечивать минимальное отражение мощности падающей ЭМВ. При этом в некоторых случаях, например, поглотителях, применяемых для скрытия объектов военной техники от радиолокационного обнаружения, положительный вклад в маскировку вносят и процессы диффузного рассеяния, так

как главный результат — это отсутствие прямого отраженного сигнала, попадающего в антенну радара. Наиболее известное применение поглотителей электромагнитных волн — материалы для безэховых камер (БЭК). Такие камеры для радиочастотного диапазона длин волн должны обеспечивать полное отсутствие эха и применяются для оценки электромагнитной совместимости (ЭМС), измерения эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) объектов и других радиоизмерений. Внутренняя поверхность таких камер должна быть покрыта радиопоглощающими материалами (РПМ) и составляет, как правило, несколько сотен, а то и тысяч квадратных метров. Выбор материалов камеры определяется ее назначением. Для проверки на ЭМС этот выбор достаточно однозначен — диапазон частот 30 МГц может быть обеспечен только ферритами, а частоты большие требуют диэлектрических насадок, как правило, пирамидальной формы. Огромные камеры, построенные в конце восьмидесятых годов, исправно работают и по сей день, и более половины из них оборудованы РПМ, разработанных на нашем предприятии (рис. 1). Наиболее известные РПМ для БЭК — «Бамбук», «Ясень», «Север», «Кварц» и др.

Для камер длинноволнового диапазона высота (толщина) пирамидальных диэлектрических поглотителей доходит до полутора метров. Последние годы значительное количество новых БЭК оборудовалось материалами импортного производства. Начальная стоимость одного квадратного метра материалов высокочастотного диапазона — 500 евро. Ферриты при этом стоят от 800–1000 евро за квадратный метр. В ЦКБ РМ разработаны новые материалы, например РПМ «Тандем», которые могут решать задачу импортозамещения в данной области. РПМ для БЭК запатентованы, они делаются под заказ и пользуются спросом специалистов по радиотехническим измерениям (рис. 2).

Одним словом, создание новых поглотителей электромагнитных волн — это сложная материаловедческая задача, требующая не только знания основ электродинамики распространения волн, но и разнообразных технологических процессов, прогноза поведения материалов в различных условиях эксплуатации, а также экономической оценки



Рис. 1. Радиопоглощающие материалы для безэховых камер



Рис. 2. Фрагмент БЭК, облицованный РПМ «Тандем» и МППК



Рис. 3. Процесс плавления металла и катушки микропровода в стеклянной изоляции

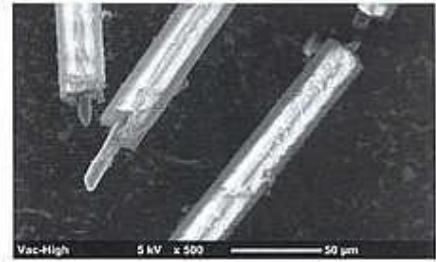


Рис. 4. Электронно-микроскопическая фотография наноструктурного микропровода в стеклянной изоляции

по критерию цена — качество — необходимость применения.

Последние годы ЦКБ РМ занимается разработкой, изготовлением и исследованием различных наноструктурных материалов. Наноматериалы — перспективная основа для высокоэффективных поглотителей электромагнитных волн. Вот некоторые примеры применения нанотехнологий для поглотителей электромагнитных волн (ПЭВ) в самых различных сферах:

- маскировка военной техники от средств разведки противника (радар и оптика);
- защита информации, то есть предупреждение от несанкционированного съема данных по электромагнитному каналу;
- решение проблем электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры (устранение влияния помех);
- решение проблем медико-биологической электромагнитной безопасности (защита персонала от вредного воздействия побочных излучений электронных приборов).

АО «ЦКБ РМ» разработан сверхширокодиапазонный радиопоглощающий маскировочный материал на основе наноструктурного ферромагнитного микропровода (НФМП) в стеклянной изоляции (рис. 3).

НФМП представляет собой тонкий металлический сердечник в стеклянной изоляции. Технология получения НФМП обеспечивает одновременное плавление металла, размягчение стеклянной трубки, окружающей навеску металла, и закалку получающегося композита со скоростью 10^6 град/сек. В результате получается трехслойный композит, состоящий из металлического проводника $d = 1-30$ мкм (рис. 4), наноструктурного переходного слоя, толщиной

порядка 5 нм и стеклянной изоляции, толщиной 2–30 мкм. Благодаря разнице коэффициента термического расширения металла и стекла, а также наличию наноструктурного переходного слоя, материал металлического сердечника находится под воздействием гигантских напряжений (10^9 Па) и обладает уникальными электрофизическими характеристиками в СВЧ диапазоне.

Наноструктурный микропровод в стеклянной изоляции оказался единственным магнитным материалом, обладающим следующим сочетанием свойств:

- наличие магнитных потерь мощности падающей электромагнитной волны в диапазоне сверхвысоких частот (диапазон работы радаров);
- возможность простыми технологическими приемами изменять радиофизические характеристики микропровода;
- возможность получать непрерывные, до нескольких километров, отрезки микропровода, обладающего заранее заданными характеристиками;
- химическая инертность изоляции;
- крайне выигрышные массо-габаритные характеристики (масса 1 километра менее одного грамма).

Все это делает микропровод весьма привлекательным объектом для создания на его основе тканых поглотителей электромагнитных волн различного назначения. Для таких поглотителей применяется НФМП, в котором внутренняя металлическая жила имеет сложный химический состав на основе сочетания переходных металлов — железа, кобальта, никеля и металлоидов — бора, кремния, углерода и др. Диаметр металлической жилы варьируется в диапазоне 10–18 микрон в зависимости от необходимых радиофизических параметров.



Рис. 5. Маскировочный радиопоглощающий комплект МРПК-1 Л



Рис. 6. Защитно-маскировочный экран с тканым маскировочным радиопоглощающим покрытием на основе наноструктурного ферромагнитного микропровода

Микропровод наматывается на металлическую или пластиковую катушку, на которой в зависимости от марки может быть от одного до пяти-семи километров НФМП.

Для придания механической прочности при сохранении негорючести наноструктурный микропровод в стеклянной изоляции дублируется со стеклянной нитью, в результате чего получается комплексная электропроводящая нить КЭНАМ, которая может быть переработана на ткацком оборудовании при изготовлении поглотителей электромагнитных волн.

Поглотитель электромагнитных волн на основе НФМП, разработанный и выпускаемый в АО «ЦКБ РМ» в интересах Министерства обороны РФ, обладает коэффициентом обратного отражения падающей от радара электромагнитной волны менее 0,5% в диапазоне длин волн от 0,2 до 15 см. Это означает значительное снижение вероятности обнаружения замаскированной военной техники.

Впервые маскировочный радиопоглощающий материал на основе НФМП был применен в изделии МРПК-1 Л (маскировочный радиопоглощающий комплект), который был принят на снабжение МО РФ в 2006 году (рис. 5).

В 2010 году на снабжение МО РФ был принят защитно-маскировочный экран (ЗМЭ) на базе НФМП для скрытия от средств разведки противника и защиты военной техники (ВВТ) от современных средств поражения, действующих из верхней полусферы, в том числе и высокоточного оружия (ВТО). ЗМЭ (рис. 6) обеспечивает защиту укрываемой бронетехники комбинированным гибким покрытием от боеприпасов кумулятивного действия с головками самонаведения. ЗМЭ вызывает срабатывание взрывателей мгновенного действия на безопасных для защищаемой техники удалениях.

Конструкция ЗМЭ позволяет снизить вероятность поражения ВВТ, а также важных стратегических объектов военного и гражданского назначения (пункты управления, базы ВМФ, ВВС, склады вооружений, атомные электростанции и др.). Уникальность технического решения ЗМЭ обеспечивает возможность создания укрытий различной формы и размера.

В июле 2010 года на основании Решения Заказчика была проведена замена



Рис. 7. Конструкционный тонкослойный радиопоглощающий материал на основе стеклоткани, содержащей нити с микропроводом



Рис. 8. Радиопоглощающие и радиорассеивающие материалы производства ЦКБ РМ

электропроводящей нити с сажевым покрытием, применяемой в материале маскировочного комплекта МРПК, на комплексную нить КЭНАМ, содержащую НФМП. С 2011 года индивидуальные многофункциональные маскировочные комплекты (ИММК) выпускаются на базе нити КЭНАМ. Замена нити позволила существенно снизить вес маскировочного комплекта и затраты на его изготовление. Серийная поставка ИММК осуществляется с нарастающим объемом, начиная с 2011 года и запланирована вплоть до 2017 года.

Проблема создания конструкционно-радиопоглощающего материала достаточно давно стоит в современном военном авиационном строении. Задача снижения заметности летательных аппаратов осложняется тем обстоятельством, что материал должен одновременно быть прочным, достаточно легким и поглощать электромагнитные волны в широком диапазоне частот. На наш взгляд решить ее можно исключительно с помощью материалов, обладающих магнитными потерями в сверхвысокочастотном диапазоне. Из известных на сегодня ферромагнетиков, обладающих магнитными потерями на сверхвысоких частотах (СВЧ) и большими значениями магнитной проницаемости, представляется перспективным наноструктурный микропровод в стеклянной изоляции с проводящей жилой из ферромагнитных сплавов (НФМП). Оценка максимальной СВЧ-магнитной проницаемости микропровода показала, что для сплава на основе железа магнитная проницаемость составляет более 200.

Мы предложили к реализации принципиально новый подход к вопросу



Рис. 9. Костюм оператора-блокировщика радиуправляемых взрывных устройств из ткани с наноструктурным микропроводом

снижения заметности летательных аппаратов. На каждый час полета самой известной «невидимки» В-2 приходится 55 часов технического обслуживания. Большая часть времени расходуется на восстановление маскировочного покрытия. В этой связи интересно попытаться создать конструкционный радиопоглощающий материал. В ЦКБ РМ разработана основа для нового тонкослойного конструкционного стеклопластика, содержащего комплексную стеклоткань с НФМП. Поглощение радиоволн осуществляется благодаря уникальным магнитным свойствам наноструктурного микропровода, дублированного стеклянной нитью. Мы использовали стеклянную нить, из которой делается стеклоткань, применяемая для изготовления конструкционных стеклопластиков. В дальнейшем из этой комплексной электропроводящей нити (КЭНАМ) были изготовлены несколько типов стеклоткани, содержащей различное количество нитей КЭНАМ, которое определялось как расчетным путем, так и по результатам радиотехнических исследований на модельных образцах (рис. 7).

В результате многочисленных экспериментов удалось составить «пакет», который обеспечивает эффективное поглощение падающей электромагнитной волны и минимизацию отраженного сигнала в сантиметровом диапазоне длин волн на уровне -17 дБ. Количество слоев варьируется от 8 до 11.

Результирующая толщина типового конструкционного стеклопластика, состоящего из 20–25 слоев стеклоткани, не превышает 2–3 мм. Таким образом «пакет», обладающий свойством погло-

щать энергию падающей электромагнитной волны, может быть основой для изготовления стеклопластика по существующей стандартной технологии при сохранении физико-механических свойств. Такая основа для тонкослойного конструкционного радиопоглощающего материала предложена впервые.

На предприятии разработаны новые пленочные и тканые поглотители, получаемые методом магнетронного напыления. Метод позволяет получать тонкие — до 5 нанометров — слои металлов и сплавов. Была разработана радиотехническая конструкция поглотителя, позволяющая эффективно поглощать или рассеивать падающую электромагнитную волну. Данный материал с успехом демонстрировался на различных международных выставках и форумах и получил ряд престижных наград.

Разработана технология изготовления экологически чистых экранирующих тканей для обеспечения медико-биологической защиты персонала и населения, работающего и проживающего в условиях вредного воздействия электромагнитных полей различной частоты и интенсивности, а также для решения задач защиты информации. Такие ткани могут быть изготовлены как на базе комплексных нитей с наноструктурным ферромагнитным микропроводом, так и с напыленными металлическими слоями нанометровой толщины (рис. 8). В зависимости от типа (химического состава металлической жилы и геометрии) микропровода, количества и расположения в ткани электропроводящих нитей КЭНАМ с микропроводом, защитные характеристики ткани могут варьироваться. Ткани могут применяться для пошива спецодежды (рис. 9), защитных штор, жалюзи и других швейных изделий, предназначенных для локализации повышенного уровня излучений в помещениях, перенасыщенных электронными приборами (лаборатории СВЧ-техники, диагностические и физиотерапевтические медицинские центры, компьютерные классы и клубы, редакции СМИ и т. д.)

Все разработки ЦКБ РМ защищены патентами РФ. Количество патентов на Изобретения и Полезные модели за 2006–2014 годы — около 50.

В 2013 году разработки предприятия были отмечены Почетной грамотой Начальника войск РЭБ «За профессионализм и высокое качество работы». Разработки средств снижения заметности на основе наноструктурного ферромагнитного микропровода были награждены памятным знаком Заместителя министра обороны РФ «За заслуги в области развития и внедрения инновационных технологий»

В 2015 году разработка ЦКБ РМ, защищенная Патентом 2014 года, удостоена золотой медали на конкурсе инновационных проектов и разработок Международного форума по интеллектуальной собственности.