

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Кузнецова Павла Алексеевича

на диссертационную работу

Политико Алексея Алексеевича

«Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Постоянное совершенствование и усложнение условий работы и эксплуатации антенного оборудования и средств связи приводит к необходимости создания композиционных материалов, обладающих заданным комплексом магнитных, диэлектрических, механических и других свойств в широком диапазоне частот и температур эксплуатации. При этом каждый материал обладает своим уникальным комплексом свойств, которые необходимо измерять максимально приближенно к рабочим условиям. Следовательно, должны разрабатываться измерительные комплексы, позволяющие максимально точно и в максимально возможном диапазоне частот и температур проводить измерения электромагнитных свойств, что требует разработки математических алгоритмов коррекции результатов измерений, а также специальных приспособлений для выполнения измерений. Это позволит получать более достоверную информацию о радиопоглощающих, радиоэкранирующих и радиопрозрачных свойствах композиционных материалов, что позволит проводить более качественную оптимизацию их характеристик под заданные требования.

В связи с этим проведенное в работе совершенствование уже существующего метода измерения электрофизических параметров гетерогенных материалов и структур в свободном пространстве, а также исследование электрофизических свойств различных, в том числе новых, РПМ и РПП в СВЧ диапазоне представляется крайне важной и актуальной задачей, поставленной и решенной в рамках данного диссертационного исследования.

В качестве основного метода исследования был выбран метод измерения электрофизических параметров материалов в свободном пространстве по результатам измерений параметров КО и КП. Для обеспечения достоверности измерений в широком диапазоне частот был разработан математический алгоритм коррекции результатов измерений S-параметров, что позволило существенно уменьшить погрешность измерений в области частот 3 – 6 ГГц. Успешно проведена разработка нового метода и проведены на его основе измерения температурных зависимостей КО покрытий в интервале температур от минус 80 до +200 °С в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц при нормальном падении волны. Установлена сложная многомодовая частотная зависимость магнитной проницаемости композиционных материалов на основе КЖ, что может быть объяснено «луковичной» структурой порошинок КЖ и требует проведения дальнейших исследований. Установлено, что в результате высокотемпературного воздействия на полимерные композиционные материалы в бескислородной среде происходит пиролиз, в результате которого на поверхности и в порах материалах образуются электропроводящие углеродные структуры, которые приводят к изменению радиотехнических характеристик этих материалов. Все это позволило успешно выполнить и практическую реализацию проведенной диссертационной работы, а именно разработать требования к электропроводности РПМ на основе пенополиуретана и технической сажи в конструкции разработанного экранирующего кожуха для диагностики антенно-фидерных устройств, изготовить и испытать его, а также разработать материал на основе эпоксидной смолы и модифицированного КЖ для изготовления согласованных нагрузок.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 168 страницах, содержит 78 рисунков, 5 таблиц и 110 наименований литературных источников.

В первой главе приводится обзор современной литературы по экспериментальным методам измерения электрофизических свойств материалов и покрытий в СВЧ диапазоне. Рассмотрены основные преимущества метода измерений в свободном пространстве, который позволяет избежать практически всех ограничений других методов и является бесконтактным методом неразрушающего контроля. Этот метод и выбран для дальнейших исследований.

Вторая глава состоит из трех взаимоувязанных разделов. Первый раздел посвящён аппаратной реализации метода измерений электрофизических параметров образцов материалов в свободном пространстве в ближней зоне линзовых рупорных антенн в диапазоне частот 3 до 39 ГГц. Во втором разделе представлен разработанный математический алгоритм коррекции результатов измерений S-параметров, который был применен при определении диэлектрической и магнитной проницаемостей образцов материалов в диапазоне частот выше 3 ГГц. Третий раздел посвящен разработке нового метода измерения температурных зависимостей КО образцов покрытий, с помощью которого представляется возможным проводить измерения в интервале температур от минус 80 до +200 °С и в диапазоне частот от 2 до 24 ГГц при нормальном падении волны.

Третья глава состоит из трех взаимоувязанных разделов, в которых приведены результаты экспериментальных исследований электрофизических свойств радиопрозрачных и радиопоглощающих гетерогенных структур, представляющих собой композиционные материалы. В первом разделе приведены результаты исследования частотных зависимостей диэлектрической и магнитной проницаемостей композиционных материалов, изготовленных из полимерного связующего и наполненных порошками КЖ с гранулами сфероидальной формы. Во втором разделе на примере

многослойного широкополосного РПП РАН-67 рассмотрена процедура контроля электрофизических свойств поглощающих покрытий при проведении испытаний на стойкость к воздействию различных климатических факторов. В третьем разделе представлены результаты экспериментальных исследований влияния высокотемпературных процессов на электрофизические свойства радиопрозрачных теплозащитных материалов, широко применяемых в ракетно-космической технике.

В четвёртой главе приводятся результаты по практическому использованию результатов измерений электрофизических параметров для разработки радиопоглощающих материалов, применяемых с целью обеспечения электромагнитной совместимости антенных систем и радиотехнического оборудования. Наиболее перспективным в конструкции экранирующего кожуха для антенн метрового диапазона длин волн является немагнитный материал со значением мнимой части диэлектрической проницаемости ϵ'' от 15 до 30 при частоте 3 ГГц. При изготовлении согласованных нагрузок наиболее перспективно использовать феррооксидный композит на основе модифицированного карбонильного железа, что позволяет обеспечить КСВ на этих нагрузках не более 1,06.

Проведённые в диссертационной работе исследования позволили получить результаты, научная новизна которых заключается в следующем. Разработан математический алгоритм коррекции результатов измерений S-параметров, позволяющий повысить точность определения диэлектрической и магнитной проницаемостей малоразмерных листовых образцов материалов в низкочастотной области спектра. Разработан новый и оригинальный метод измерения температурных зависимостей КО образцов РПП, позволяющий в отличие от существующих методов проводить контроль электрофизических свойств покрытий в диапазоне температур от минус 80 до +200 °С. Обнаружены и исследованы высокочастотные резонансные моды в

частотных зависимостях магнитной проницаемости гетерогенных структур на основе карбонильного железа, являющиеся, предположительно, обменными модами Аарони.

Практическая значимость результатов работы обусловлена тем, что применение разработанного метода измерения температурных зависимостей КО образцов РПП при воздействии повышенных и пониженных температур позволяет обеспечить проведение испытаний покрытий на стойкость к внешним воздействующим факторам. Результаты экспериментальных исследований электрофизических свойств радиопрозрачных теплозащитных материалов, подвергаемых воздействию экстремальных тепловых нагрузок, позволили разработать и оптимизировать конструкцию радиопрозрачного обтекателя для применения в составе высокоскоростного летательного аппарата. Применение РПМ на основе пенополиуретана и технической сажи в конструкции разработанного экранирующего кожуха для диагностики антенно-фидерных устройств позволило снизить влияние металлического колпака на радиотехнические характеристики антенны в рабочих диапазонах частот 130 - 160 МГц и 300 - 330 МГц (наблюдается увеличение ее КСВ не более чем до 2,1). Применение РПМ на основе феррооксидов в конструкции вставок в волноводные согласованные нагрузки позволяет обеспечить КСВН не более 1,06.

Анализ представленных в диссертации результатов позволяет заключить, что автор успешно решил поставленные задачи и достиг цели работы, среди которых следует отметить следующие: разработка новых методов измерений электрофизических параметров материалов и исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих материалов и структур, направленные на разработку новых РПМ и РПП с требуемыми СВЧ свойствами.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается проведённым анализом отечественной и зарубежной литературы, результатами сопоставления теоретических и экспериментальных данных, успешным внедрением стендов для сверхширокополосных измерений электрофизических параметров материалов и покрытий в свободном пространстве, а также внедрением различных РПМ с целью улучшения электромагнитной совместимости антенных систем.

Полученные в работе и отмеченные выше результаты имеют важное значение для исследования электрофизических и электромагнитных явлений и процессов в различных средах для нужд электронной, приборостроительной, электротехнической промышленности и связи.

Диссертация является завершённым научным исследованием, написана технически грамотным языком, логично построена, а ее структура и содержание соответствует поставленной цели и задачам исследований.

Диссертационная работа прошла апробацию на 17 российских и зарубежных научных конференциях. Материалы, излагаемые в диссертации, опубликованы в 9 печатных работах и 1 патенте на полезную модель по теме диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В качестве замечаний к работе следует отметить следующие:

1. В таблицах 2.1 и 2.2 диссертации приведены значения погрешностей измерения магнитной и диэлектрической проницаемости, а также модулей КО и КП листовых образцов материалов на разработанном измерительном стенде. Остается непонятным каким образом были подтверждены эти метрологические характеристики, а также за счет чего была обеспечена такая погрешность – за счет конструкции стенда или за счет программно-математической обработки?

2. В диссертации не обосновывается необходимость проведения измерений радиотехнических параметров в диапазоне от минус 80 до

+200 °С. При этом, ограничение снизу интуитивно понятно, так как для летательных аппаратов это практически нижний предел по температуре за бортом, а вот верхнее ограничение не очень понятно. Исходя из конструкции и используемых материалов вполне возможно повышение температуры до 300 – 400 °С.

3. В диссертации приведены очень интересные результаты по измерению КО РПП РАН-6 и РАН-53 при различных температурах, которые показывают, что по сравнению с данными, полученными при комнатной температуре, максимум коэффициента отражения при увеличении температуры сдвигается в более высокочастотную область, а при уменьшении температуры – в низкочастотную область. На стр. 62 делается вполне закономерный вывод об изменении значений магнитной и диэлектрической проницаемостей материалов композитного покрытия. Однако нет ответа на самые главные вопросы – почему происходит изменение и какой параметр наиболее чувствителен к температуре (магнитная или диэлектрическая проницаемость).

4. В диссертации в явном виде не приводятся результаты исследований по созданию покрытия РАН-90. В приложении А диссертации приведен патент на полезную модель «Экранирующий кожух для устройства проверки работоспособности радиостанции с штыревой антенной». В этой связи считаю более правильным в защищаемом положении 5 отметить именно разработку экранирующего кожуха с заданными параметрами КСВ, а не материала.

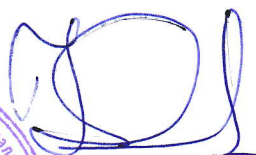
5. Выводы в автореферате, относящиеся к выносимым на защиту положениям 1 и 5, содержат недостаточно конкретики, вместо этого используются достаточно расплывчатые выражения «...алгоритм коррекции..., который позволяет значительно уменьшить погрешности...», «Разработан радиопоглощающий материал материал..., который устанавливается...».

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа «Экспериментальные исследования электрофизических свойств гетерогенных поглощающих структур и покрытий в СВЧ диапазоне» полностью отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, в том числе п.п. 9 и 14, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. (ред. 01.10.2018 г.) № 842. Автор диссертационной работы Политико Алексей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Доктор технических наук

П.А. Кузнецов




20.04.2021

Подпись Кузнецова П.А. заверяю.

Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей»


Б.В. Фармаковский

Кузнецов Павел Алексеевич, доктор технических наук, специальность 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение), начальник Научно-исследовательского отделения «Наноматериалы и нанотехнологии» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, Шпалерная ул., д. 49

Тел: +7 (921) 935-30-83

E-mail: kspavel@mail.ru, Web-сайт: <http://www.cris-m-prometey.ru>