

УДК 537.86  
ББК 32.842  
Ф 35



Издание осуществлено при поддержке  
Российского фонда фундаментальных  
исследований по проекту 12-08-07008

Федюнин П. А., Казьмин А. И. **Способы радиоволнового контроля параметров защитных покрытий авиационной техники** / Под общ. ред. П. А. Федюнина. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 184 с. — ISBN 978-5-9221-1414-1.

В монографии рассматриваются микроволновые способы неразрушающего контроля, базирующиеся на эффекте распространения поверхностных медленных волн в диэлектрических и магнитодиэлектрических материалах на металлическом основании. Разработанные способы обеспечивают полную бесконтактность измерений и позволяют решить задачу контроля электрофизических и геометрических параметров, а также внутренних дефектов диэлектрических и магнитодиэлектрических материалов на металлическом основании, в том числе защитных покрытий авиационной техники. Рассмотрены вопросы разработки устройств контроля параметров материалов и покрытий металлических поверхностей, обоснования их технической реализуемости, а также автоматизации измерений.

Монография предназначена инженерам и научным работникам, а также студентам технических вузов и курсантам военных институтов, специализирующимся в области электро- и радиофизики.

Рецензенты:

заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук,  
профессор В. А. Понькин;  
заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук,  
профессор В. Н. Чернышов.

## Оглавление

Буквенные обозначения и единицы измерения основных величин	7
Введение	9
<b>1. Литературный обзор и задача исследования</b>	<b>11</b>
1.1. Анализ вопросов снижения радиолокационной заметности авиационных комплексов с помощью радиопоглощающих материалов и покрытий	11
1.1.1. Анализ изменения ЭПР авиационных комплексов со сниженной радиолокационной заметностью при отклонении параметров РПП в ходе их эксплуатации от заданных значений	11
1.1.2. Классификация и обзор радиопоглощающих материалов и покрытий отечественного и зарубежного производства	20
1.2. Методы и средства контроля электрофизических параметров радиопоглощающих покрытий	29
1.2.1. Электрические методы	29
1.2.2. Магнитные методы	32
1.2.3. Радиоволновые методы	35
1.3. Общая классификация СВЧ-методов и устройств неразрушающего контроля РПП	40
1.4. Средства дефектоскопии диэлектрических и магнитодиэлектрических покрытий	52
1.5. Основные недостатки существующих методов контроля параметров покрытий	62
1.6. Задача сканирования волнового сопротивления на больших поверхностях	64

<b>2. Теоретическое обоснование применения метода поверхностных волн в решении задач контроля параметров покрытий металлической поверхности</b> . . . . .	68
2.1. Решение краевой задачи распространения медленной волны над неограниченной системой «магнитодиэлектрик-проводник» и адаптация к ограниченной системе . . . . .	68
2.2. Схема реализации метода . . . . .	81
2.3. Выбор мод, длин волн генератора и диапазонов одномодовости $E$ - и $H$ -мод. . . . .	84
2.4. Основная мода $E1$ . . . . .	88
2.5. Анализ аналитического решения для расчета коэффициента недиссипативного ослабления моды $E1$ . . . . .	92
<b>3. Радиоволновой контроль параметров защитных покрытий</b> . . . . .	94
3.1. СВЧ-способы определения электрофизических параметров и выявления неоднородностей в радиопоглощающих покрытиях . . . . .	94
3.1.1. СВЧ-способ определения диэлектрической проницаемости и толщины диэлектрических покрытий на металле . . . . .	94
3.1.2. Двухмодовый трехчастотный способ для волн электрического и магнитного типа $E1$ , $H1$ без подмагничивания . . . . .	94
3.1.3. СВЧ-способ измерения электромагнитных параметров и толщины диэлектрических и магнитодиэлектрических покрытий на металле и устройство для его реализации . . . . .	99
3.1.4. Способ определения электрофизических параметров по длинам стоячих или смешанных волн . . . . .	109
3.1.5. СВЧ-способ измерения магнитодиэлектрических параметров и толщины спиновых покрытий на металле . . . . .	116
3.1.6. Способ измерения длины, толщины и диэлектрической проницаемости диэлектрического покрытия на металлической поверхности . . . . .	117
3.1.7. Способ определения параметров и оценки неоднородностей радиопоглощающих покрытий по информативному объему . . . . .	120
3.1.8. Алгоритм многомодовых режимов на одной частоте . . . . .	125
3.1.9. Многоизлучательные когерентные системы поверхностных волн . . . . .	128

3.1.10. Способ визуализации неоднородностей по пространственному распределению дисперсии коэффициента нормального ослабления . . . . .	130
3.1.11. Способ определения ЭФП и неоднородностей РПП на основе многопараметрической обработки информативных полей поверхностных волн . . . . .	132
3.2. Аппроксимация аналитической модели и ее оценка . . . . .	138
3.3. Расчетный алгоритм метода . . . . .	140
3.4. Коррекция модели для слоя, содержащего ферромагнитные частицы . . . . .	141
<b>4. Экспериментальная измерительно-вычислительная система определения ЭФП и обнаружения дефектов в РПП на металлическом основании</b> . . . . .	143
4.1. Измерительная система . . . . .	143
4.2. Программное обеспечение . . . . .	149
4.3. Экспериментальные исследования по определению ЭФП и обнаружению дефектов РПП . . . . .	152
4.3.1. Анализ пространственно-временной структуры поля над РПП и базовой структуры поля над металлическим основанием без РПП . . . . .	152
4.3.2. Экспериментальные исследования по обнаружению дефектов в РПП разработанными способами . . . . .	157
4.3.3. Оценка вероятностных характеристик алгоритмов . . . . .	161
4.3.4. Оценка точностных характеристик способа и алгоритмов определения ЭФП и обнаружения дефектов РПП . . . . .	171
Заключение . . . . .	174
Список литературы . . . . .	176