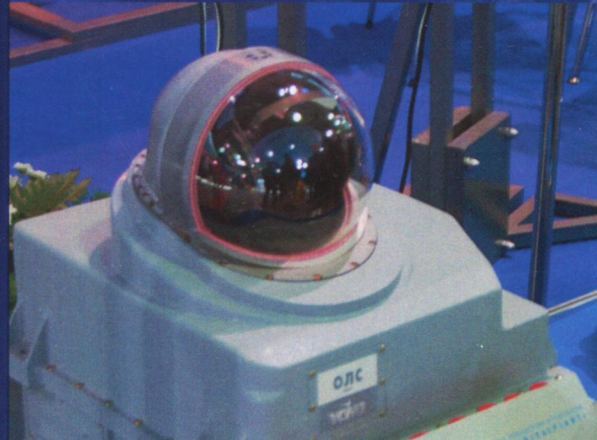
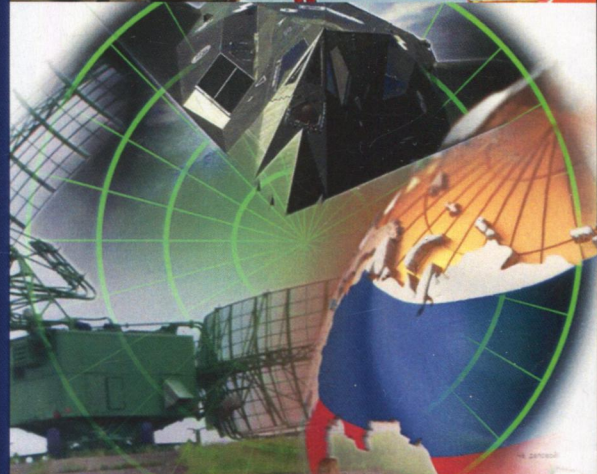


**БОРТОВЫЕ
АНТЕННЫ
ЛОКАЦИИ
И
НАВИГАЦИИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ
СТРУКТУР
ИЗ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

А. Р. Бестугин, И. А. Киршина, М. Б. Рыжиков, А. Н. Якимов

**БОРТОВЫЕ АНТЕННЫ ЛОКАЦИИ
И НАВИГАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУКТУР
ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Монография

*Под редакцией доктора технических наук,
профессора А. Р. Бестугина*



УДК 621.396.67
ББК 32.84
Б82

Авторы: А. Р. Бестугин, И. А. Киршина, М. Б. Рыжиков, А. Н. Якимов
Б82 **Бортовые антенны локации и навигации с применением структур из композитных материалов:**
монография / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Р. Бестугина – СПб.: ГУАП, 2021. – 440 с.
ISBN 978-5-8088-1646-6

Дается представление об основных композитных материалах, способах измерения и оценки их электрических параметров, позволяющих производить расчет характеристик излучения антенных систем, изготовленных с использованием композитных материалов, указаны методы и конкретные решения электродинамических задач для антенных систем, использующих композиты в своем составе.

Приведены способы и физические принципы, которые лежат в основе технических реализаций композитных покрытий для защиты антенн от нагрева и разрушения при гиперзвуковых скоростях полета, а также результаты анализа, расчета и экспериментов по влиянию композитных нагревостойких покрытий на характеристики излучения антенных систем.

Получены способы уменьшения эффективной площади рассеяния антенн, изучены конкретные технические решения с применением композитных материалов.

Изучены возможности математического моделирования электромагнитной помехозащищенности антенн, с учетом влияния внешних тепловых и механических воздействий на их конструкции и характеристики излучения.

Материалы получены по результатам выполнения грантов РФФИ № 17-07-00005-а, 17-07-00024-а, 18-07-00110-а, 18-07-00111-а, 19-07-00205-а, руководителями и исполнителями которых являются члены авторского коллектива.

Монография предназначена для студентов и аспирантов, обучающихся по направлению «Радиотехника» и для специалистов, занимающихся разработкой антенных систем.

УДК 621.396.67
ББК 32.84



*Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований по проекту № 21-17-00001, не подлежит продаже*

Научное издание

**Бестугин Александр Роальдович,
Киршина Ирина Анатольевна,
Рыжиков Максим Борисович,
Якимов Александр Николаевич**

**БОРТОВЫЕ АНТЕННЫ ЛОКАЦИИ
И НАВИГАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУКТУР
ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Монография

ISBN: 978-5-8088-1646-6



9 785808 816466

Научный редактор *А. Р. Бестугин*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 10.11.21. Формат 60 × 84 1/8.
Усл. печ. л. 54,7. Уч.-изд. л. 98,0. Тираж 300 экз. Заказ № 504.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67

ISBN 978-5-8088-1646-6

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Список сокращений.....	5
Часть 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АНТЕНН СВЧ	7
Глава 1. Применение композиционных материалов на летательных аппаратах.....	8
1.1. Композиционные материалы в электродинамическом смысле их применения.....	8
1.2. Свойства композиционных материалов, используемых в бортовых антенных системах	13
1.3. Применение композиционных материалов в радиодиапазоне на летательных аппаратах	22
Глава 2. Теоретические исследования влияния композитов на излучение антенн СВЧ	32
2.1. Анализ факторов влияния сложного профиля корпуса летательного аппарата из композиционных материалов на параметры бортовых антенных устройств.....	32
2.2. Строгая модель решения задачи дифракции электромагнитного поля на элементах корпуса летательного аппарата из композиционных материалов	44
2.3. Физическая модель ЛА в виде суперпозиции рассеивающих композитных фрагментов простейших геометрических форм	55
Глава 3. Теоретические исследования влияния композитов на рассеяние электромагнитных волн....	67
3.1. Основы теории рассеяния электромагнитных волн на объектах произвольной формы из композитов в средах с конечной проводимостью	67
3.2. Рассеяние электромагнитных волн на антеннах СВЧ беспилотных летательных аппаратов из композитов и с композитными покрытиями	83
3.3. Рассеяние электромагнитных волн на бортовой апертурной антенне СВЧ во фрагменте конечных размеров композита с большим радиопоглощением.....	97
Глава 4. Экспериментальные исследования электрических и радиотехнических характеристик композитов.....	104
4.1. Методы измерения радиотехнических характеристик композитов на СВЧ.....	104
4.2. Метод свободного пространства для измерения радиотехнических характеристик композитов на СВЧ при моделировании внешних воздействий в условиях их эксплуатации	115
4.3. Измерение электрических параметров углепластика СЛОПРЭГ-4 на постоянном токе	126
4.4. Определение радиотехнических характеристик углепластика на СВЧ по измерению коэффициента отражения и диаграммы обратного рассеяния	135
Часть 2. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АНТЕНН ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАЛОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТЬЮ ..	147
Глава 5. Динамическое управление эффективной площадью рассеяния антенн для снижения их радиолокационной заметности	148
5.1. Активный способ уменьшения эффективной площади рассеяния	148
5.2. Особенности применения управляемых частотно-избирательных поверхностей.....	159
5.3. Коммутационное управление эффективной площадью рассеяния антенн	171
5.4. Уменьшение эффективной площади рассеяния антенн с помощью искусственно создаваемой плазмы с управляемыми параметрами	178
5.5. Уменьшение эффективной площади рассеяния антенн с помощью управляемых импедансных покрытий	184
Глава 6. Вибраторная антенная решетка с малой радиолокационной заметностью при применении излучателей с покрытием композиционными (диэлектрическими) материалами	190

6.1. Модели вибраторной антенной решетки в качестве частотно-селективной сетки (экрана) в двухчастотных антенных системах	190
6.2 Методы расчета рассеянного поля от вибратора кругового сечения с диэлектрическим покрытием различной структуры и свойствами, дающими снижение эффективной площади рассеяния.....	207
6.3. Расчет излучения вибратора с многослойным диэлектрическим покрытием при сниженной эффективной площади рассеяния	217
6.4. Методы расчета рассеянного поля от вибратора с продольным секториальным вырезом, дающим снижение эффективной площади рассеяния.....	221
6.5. Экспериментальные исследования характеристик рассеяния вибраторных антенн со сниженной эффективной площадью рассеяния.....	229
Глава 7. Двухлучевая волноводно-щелевая антенная решетка радиовысотомера малых высот с функцией измерения параметров подстилающей поверхности и скорости движения	237
7.1. Сравнительный анализ вариантов исполнения двухлучевых антенных систем	237
7.2. Особенности проектирования волноводно-щелевых антенных решеток прямоугольной формы.....	245
7.3. Инженерный метод расчета характеристик излучения. Конструктивные решения	259
7.4. Особенности проектирования волноводно-щелевых антенных решеток овальной формы.....	270
7.5. Моделирование основных параметров волноводно-щелевой антенной решетки радиовысотомера малых высот	278
7.6. Пути снижения эффективной площади рассеяния антенных решеток на носителях из композитных материалов с малой радиолокационной заметностью. Переход на микрополосковые антенные решетки	285
Глава 8. Модели двухлучевой микрополосковой антенной решетки.....	295
8.1 Особенности применения плоских антенных решеток	295
8.2. Предварительный выбор геометрической конфигурации и параметров микрополосковых излучателей проектируемой антенной решетки	302
8.3. Варианты исполнения двухлучевой микрополосковой антенной решетки с выбором размещения излучателей на раскрыве антенны на базе материала Rogers RO 3003	309
8.4. Микрополосковые антенны на базе материалов RO 4350В и RT 5870.....	316
Глава 9. Техническая реализация двухлучевой микрополосковой антенной решетки с малой радиозаметностью и ее применение	324
9.1. Расчет двухлучевой микрополосковой антенной решетки со ступенчатым излучающим полотном для снижения эффективной площади рассеяния	324
9.2. Результаты расчета.....	334
9.3. Применение сегментированной микрополосковой антенной решетки.....	337
Глава 10. Антенная система с линзой Люнеберга с малой радиолокационной заметностью для летательных аппаратов из композитов	354
10.1. Разработка методики расчета эффективной площади рассеяния линзы Люнеберга с модифицированным законом распределения диэлектрической проницаемости, удовлетворяющим снижению радиолокационной заметности	354
10.2. Возможность снижения радиолокационной заметности антенных систем с линзой Люнеберга	362
10.3. Расчет характеристик рассеяния антенной системы с линзой Люнеберга с малой радиолокационной заметностью.	367
Глава 11. Моделирование помехозащищенности антенн с учетом влияния внешних воздействий	373
11.1. Оценка электромагнитной помехозащищенности антенны РТС по ее диаграмме направленности.....	373

11.2. Обеспечения электромагнитной помехозащищенности микроволновых антенн методами математического синтеза.....	378
11.3. Оценка влияния внешних деформирующих воздействий на помехозащищенность антенн.	391
11.4. Влияние тепловых воздействий на характеристики антенн	397
11.5. Влияние механических воздействий на характеристики антенн	414
Заключение	424
Список используемой литературы	425