

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия

**А. О. КАСЬЯНОВ**

**ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ.  
МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

*Монография*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2019

УДК 621.396.677.49

ББК 32.845

К289

*Печатается по решению экспертной группы комитета по инженерному направлению науки и образования при ученом совете Южного федерального университета (протокол № 7 от 17 апреля 2019 г.)*

**Рецензенты:**

зав. кафедрой радиоэлектроники ДГТУ, доктор физико-математических наук, доцент *М. Ю. Звездина*

зав. кафедрой радиофизики ЮФУ, доктор физико-математических наук, профессор *Г. Ф. Заргано*

**Касьянов, А. О.**

К289 Частотно-избирательные поверхности. Методы проектирования и области применения : монография / А. О. Касьянов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. – 165 с.

ISBN 978-5-9275-3206-3

Рассмотрены вопросы разработки частотно-избирательных поверхностей, а также вопросы их электродинамического моделирования, системы автоматизированного проектирования и области применения таких электродинамических структур. Особое внимание уделено вопросам разработки адекватных математических моделей для них с учетом возможности их комплексного использования в современных радиоэлектронных системах, например, для создания интеллектуальных покрытий, метаматериалов и т.д. Описан комплекс вычислительных программ автоматизированного проектирования частотно-избирательных поверхностей в печатном исполнении. Исследованы электродинамические характеристики этих решеток и даны рекомендации для их автоматизированного проектирования. Теоретические материалы подкреплены результатами экспериментальных исследований и примерами расчетов. Работа представляет интерес для инженеров, научных работников, аспирантов и магистрантов.

УДК 621.396.677.49

ББК 32.845

ISBN 978-5-9275-3206-3

© Южный федеральный университет, 2019

© Касьянов А. О., 2019

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
ГЛАВА 1. ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	17
1.1. Частотно-избирательные поверхности. Основные отличительные черты.....	17
1.2. Особенности проектирования ЧИП.....	19
1.3. Основные области применения ЧИП в антенной технике.....	20
1.4. Конструирование СВЧ-экранов на основе ЧИП.....	26
1.5. Применение ЧИП для снижения РЛЗ объектов.....	27
1.6. Перспективные модификации частотно-избирательных поверхностей.....	29
Выводы.....	30
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНАРНОЙ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ТРЕХ ПЕЧАТНЫХ РЕШЕТОК, РАЗДЕЛЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ.....	32
2.1. Постановка задачи.....	32
2.2. Система интегральных уравнений задачи возбуждения планарной частотно-избирательной поверхности на основе трех печатных решеток, разделенных диэлектрическими слоями.....	34
2.3. Решение вспомогательных задач .....	40
2.4. Применение условия периодичности печатных элементов в решетках, расположенных на магнитоэлектрических подложках многослойной частотно-избирательной поверхности.....	43
2.5. Численная реализация решения системы интегральных уравнений.....	48
ГЛАВА 3. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТОКОВ НА ЭЛЕМЕНТАХ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ПО- ВЕРХНОСТЕЙ И ТЕСТИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГО- РИТМОВ И ПРОГРАММ .....	53
3.1. Тестирование алгоритма расчета ЧИП на основе многоэлемент- ных печатных решеток .....	53

3.2. Распределения токов, рассчитанные в апертурах монопланарных частотно-избирательных поверхностей .....	63
Выводы .....	67
ГЛАВА 4. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПЕЧАТНЫХ РЕШЕТОК, РАЗДЕЛЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЛОЯМ.....	68
4.1. Результаты электродинамического моделирования монопланарных решеток печатных элементов и перфорированных экранов .....	68
4.2. Результаты моделирования бипланарных решеток печатных элементов и перфорированных экранов .....	74
4.3. Результаты численного моделирования планарных частотно-избирательных электродинамических структур на основе трех печатных решеток или перфорированных экранов, разделенных диэлектрическими слоями .....	81
5. ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ НА ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАТНЫХ РЕШЕТКАХ И ПЕРФОРИРОВАННЫХ ЭКРАНАХ, ПОМЕЩЕННЫХ В СЛОЙ ДИЭЛЕКТРИКА .....	89
5.1. Подходы, используемые для решения задачи, и ее значимость для практики .....	89
5.2. Численные результаты, полученные методом обобщенной матрицы рассеяния .....	90
5.3. Численные результаты, полученные методом функции Грина слоистой среды .....	95
ГЛАВА 6. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ОДНОСЛОЙНЫХ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ПЕЧАТНЫХ РЕШЕТОК СО СЛОЖНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ И МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ.....	113
6.1. Постановка задачи .....	113

6.2. Применение частотно-избирательных поверхностей при построении многочастотных зеркальных антенн с пространственно разнесенными облучателями .....	113
6.3. Частотно-избирательные поверхности с элементами, имеющими топологии в виде геометрического фрактала .....	119
6.4. Комплекс вычислительных программ для проектирования печатных решеток отражательного типа .....	121
ГЛАВА 7. КОНСТРУКТИВНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ РЕШЕТОК ПЕЧАТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	128
7.1. Разработка частотных фильтров на основе частотно-избирательных решеток .....	128
7.2. Разработка угловых фильтров на основе печатных решеток .....	134
ГЛАВА 8. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ФРАКТАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ .....	138
8.1. Постановка задачи исследования фрактальных отражательных решеток .....	138
8.2. Результаты численного исследования частотно-избирательных поверхностей фрактальными элементами .....	140
8.3. Частотно-избирательная поверхность на 30/90/150 ГГц многолучевого солнечного радиотелескопа .....	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	155
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	158