



РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Монография

Новосибирск
2016

УДК 62
ББК 32.8+38.3
Р17

Рецензенты:

Габриэлян Д.Д., доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель начальника научно-технического комплекса ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» Федерального научно-производственного центра по науке (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Звездина М.Ю., доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой радиозлектроники, Донской государственный технический университет (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Авторы:

Предисловие: М.Ю. Звездина;

Глава 1: М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова;

Глава 2: М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова;

Глава 3: М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова;

Глава 4: М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова;

Глава 5: М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова;

Глава 6: А.О. Касьянов, М.С. Китайский, В.В. Мушников;

Глава 7: Н.В. Клюева, Е.С. Карелова.

Р17 Разработка и применение композиционных материалов с требуемыми свойствами: монография; [под ред. М.Ю. Звездиной]. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2016. – 198 с.

ISBN 978-5-4379-0454-1

Монография посвящена вопросам разработки и использования композиционных материалов в антенной технике и строительстве. Рассмотрены общие вопросы построения композитных материалов, моделирования их основных характеристик, приводятся примеры возможных областей применения: в антенной технике для управления электромагнитным полем антенны, в строительной технике – для повышения живучести железобетонных элементов.

Для научных работников и широкого круга специалистов в области антенной техники и строительства, а также для преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов, обучающихся по радиотехническим и строительным направлениям.

Главный редактор: д-р физ.-мат. наук – Звездина Марина Юрьевна.

ББК 32.8+38.3

ISBN 978-5-4379-0454-1

© АНС «СибАК», 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ:

Предисловие	6
Глава 1. Варианты построения композитных радиоматериалов (обзор)	9
1.1. Общие свойства метаматериалов	10
1.2. Метаматериалы SNG	14
1.3. Магнитодиэлектрические материалы	17
1.4. Высокоимпедансные покрытия	24
Глава 2. Переход от конструктивных параметров метаматериалов к электрическим (обзор)	32
2.1. Вычисление эффективных параметров композитов	32
2.2. Вычисление поверхностного импеданса. Стандартные граничные условия	37
2.3. Вычисление спектрального поверхностного импеданса. Граничные условия высших порядков	44
Глава 3. Общее решение задачи дифракции электромагнитных волн на круговом цилиндре с покрытием	56
3.1. Представление полей	57
3.2. Преобразование системы уравнений для получения решения в замкнутой форме	69
3.3. Решение задачи дифракции	81

Глава 4. Полноволновой анализ решения задачи дифракции электромагнитных волн на круговом металлическом цилиндре с покрытием	92
4.1. Методика полноволнового анализа решения	93
4.2. Полноволновой анализ решения	103
4.3. Условия возбуждения направляемых волн на цилиндре с покрытием	111
4.4. Полноволновой анализ для высокоимпедансных структур	115
Глава 5. Применение композитных материалов для управления полем антенны	121
5.1. Управление характеристиками рассеяния объекта	123
5.2. Управление характеристикой направленности антенны	129
Глава 6. Композиционные материалы на основе периодических решёток микрополосковых элементов. Математическое моделирование и численное исследование их характеристик	139
6.1. Пространственные поляризационные фильтры, преобразователи и манипуляторы на основе микрополосковых решёток	140
6.2. Управляемые твист-рефлекторы на основе реконфигурируемых микрополосковых решёток	154
6.3. Численное исследование конструкций микрополосковых поглотителей на основе модели периодической решётки нагруженных микрополосковых элементов	166

Глава 7. Критерии прочности железобетонных элементов при оценке их живучести	174
7.1. Критерии прочности нагруженного и коррозионно повреждаемого бетона при плоском напряженном состоянии	174
7.2. Общий критерий прочности конструктивно нелинейных статически неопределимых конструкций при использовании неординарного смешанного метода	181
Сведения об авторах.....	195
Приложение.....	196

ПРЕДИСЛОВИЕ

Композиционные материалы давно используются в различных областях человеческой деятельности. Так, решение жилищной проблемы человечества без применения бетона и саманного кирпича было бы практически невозможно. В то же время технический прогресс вызвал необходимость изучения новых аспектов. В строительной практике ухудшение экологической обстановки, в частности, выпадение кислотных дождей, потребовало проведения исследований их влияния на стойкость бетонных конструкций. В антенной технике новый скачок в развитии композитные материалы получили в конце XX века после экспериментального доказательства американскими учеными (Pendry J.B. и др.) аномальных свойств материалов с отрицательным показателем преломления. Последние двадцать лет усилия ученых были направлены на построение композитных радиоматериалов со свойствами, существенно отличающимися от свойств его составляющих, получивших название метаматериалов, а также их применение для управления структурой электромагнитного поля, излучаемого антенной или рассеянного объектом. Поскольку аномальные свойства метаматериалов обусловлены возбуждением или, наоборот, подавлением направляемых волн структуры, то применение композитных материалов в антенной технике связано с проведением серьезных теоретических исследований, включая полноволновой анализ структуры возбуждаемого электромагнитного поля. В монографии авторами была сделана попытка анализа известных в настоящее время вариантов построения метаматериалов и взаимосвязи их конструктивных параметров с электрическими. Приведены решения задачи дифракции электромагнитной волны на круговом металлическом цилиндре с многослойным покрытием в строгой постановке и при использовании импедансного подхода. Для данной конструкции несущего объекта приводятся примеры использования метаматериалов для управления структурой электромагнитного поля антенны.

В первой главе монографии выполнен обзор известных конструкций метаматериалов. Показано, что реализация данных материалов осуществляется в виде трех известных вариантов (внесением в диэлектрическую матрицу периодически упорядоченных включений, выполнением полостей между металлическими экраном и пластинами, формированием покрытий из сопряженных слоёв метаматериалов). Приводится классификация метаматериалов. Показано, что в основе функционирования метаматериалов лежит

принцип формирования резонанса в композите, а ширина рабочего диапазона частот регулируется формой включений (или пластин), а также периодом их размещения.

Вторая глава монографии посвящена обзору известных соотношений для перехода от конструктивных параметров известных вариантов реализации композитных материалов радиодиапазона. Приводятся два варианта перехода: к эффективным относительной диэлектрической и относительной магнитной проницаемостям, а также к величине поверхностного импеданса. Показана взаимосвязь между величиной поверхностного импеданса и эффективными проницаемостями. Приводятся два варианта записи тензора поверхностного импеданса: для стандартных импедансных граничных условий и для импедансных граничных условий высших порядков.

В третьей главе приводится общее решение в частотной области задачи дифракции электромагнитного поля стороннего источника в виде системы ортогональных элементарных диполей, расположенного в многослойном магнитодиэлектрическом покрытии на круговом металлическом цилиндре, бесконечном вдоль образующей. Для сокращения размера формируемой блочной матрицы предлагается использовать алгоритм свёртки, а для получения аналитической формы записи спектральных дифракционных коэффициентов – метод окаймления. Запись решения и для однослойного покрытия позволяет выполнять сравнение с известными частными случаями.

В четвёртой главе монографии на основе известной методики и классификации направляемых волн в слоистой структуре выполнен полноволновой анализ решения задачи дифракции электромагнитной волны на круговом бесконечном вдоль образующей металлическом цилиндре с магнитодиэлектрическим покрытием. Полученные в замкнутой форме условия возбуждения направляемых волн найдены при использовании асимптотического представления дисперсионного уравнения. Дается физическая трактовка полученным решениям и условия их применения. Достоверность решений подтверждается сравнением с известными частными случаями тонкого провода и плоскости.

В пятой главе монографии приводятся примеры использования многослойных покрытий из метаматериалов для управления, рассеиваемого объектом в виде кругового металлического цилиндра резонансных размеров электромагнитного поля, а также характеристиками направленности, расположенной вблизи такого объекта антенны в виде элементарного произвольно ориентированного вибратора.

Шестая глава монографии посвящена анализу результатов разработки на основе метаматериалов в виде периодических микрополосковых элементов радиопоглощающих покрытий, пространственных поляризационных фильтров, преобразователей и манипуляторов в интегральном исполнении. Показано, что полоса рабочих частот таких поляризаторов может достигать октавы независимо от центральной частоты диапазона. Предложены места установки управляемых элементов для наиболее эффективного управления степенью преобразования поляризации посредством реконfigurирования микрополосковых периодических элементов. Численно выявлен эффект аномального рассеяния волн микрополосковой решетки твист-рефлектора при наклонном падении на нее возбуждающей волны, характеризующийся резким ростом потерь при переходе на ортогональную поляризацию в узком угловом секторе. Показано, что для радиопоглощающих материалов кривые поглощения носят резонансный характер. Введение в состав конструкции штырей, шунтирующих каждый микрополосковый элемент с экраном, незначительно влияет на поглощающие свойства покрытия.

В седьмой главе монографии основное внимание уделяется исследованию прочностных характеристик железобетонных элементов строительных конструкций в условиях воздействий техногенного и природного характера. Выполнена попытка оценки эволюционного накопления средовых повреждений в нагруженном железобетоне, приводящего к внезапному выключению наиболее напряженного сечения и структурной перестройке статически неопределимой конструктивной системы. Показано, что представление железобетона в виде упруго-хрупко-пластического материала дает возможность оценивать его живучесть посредством расчета смешанным методом статически неопределимой системы с внезапно изменяющимися связями с учетом их одностороннего характера, а, следовательно, определять уровни внешней нагрузки, в пределах которых происходит лавинообразное или локальное разрушение заданной конструктивной системы.

Звездина Марина Юрьевна

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Звездина Марина Юрьевна – доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой радиоэлектроники, Донской государственной технической университет (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Карелова Елена Сергеевна – магистрант, кафедра промышленного и гражданского строительства, Юго-Западный государственный университет (Россия, г. Курск).

Касьянов Александр Олегович – доктор технических наук, доцент, заместитель начальника отдела по науке, ФГУП «Ростовский НИИ радиосвязи» (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Китайский Максим Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГУП «Ростовский НИИ радиосвязи» (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Клюева Наталия Витальевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленного и гражданского строительства, Юго-Западный государственный университет (Россия, г. Курск).

Мушников Валентин Вячеславович – кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГУП «Ростовский НИИ радиосвязи» (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Шокова Юлия Александровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиоэлектроники, Донской государственной технической университет (Россия, г. Ростов-на-Дону).

Монография

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ТРЕБУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Под редакцией доктора физико-математических наук М.Ю. Звездиной

Подписано в печать 17.04.16. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 12,375. Тираж 550 экз.

Издательство АНС «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, оф. 4.
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3.