

# ПРЕДИСЛОВИЕ

За многолетнюю историю изучения и использования антенн в технике опубликовано несколько десятков монографий и учебных изданий на русском языке и сотни статей. Авторами книг являются крупные ученые и конструкторы, профессора вузов. Назовём лишь несколько имен: А.А. Пистолькорс [1], А.З. Айзенберг [2], Г.Т. Марков [3], Г.Н. Кочержевский [4], Д.М. Сазонов [5], Д.И. Воскресенский [6] и др. Имеется несколько удачных переводных изданий, в основном с английского языка. Через Интернет доступны монографии и статьи современных иностранных и российских авторов.

При подготовке настоящего издания естественно использовались названные материалы. Тем не менее, мы взяли за подготовку нового учебного пособия, руководствуясь рядом обстоятельств. Главные из них следующие.

1. Издание является учебным пособием для студентов вузов. Последние годы наметилась подготовка специалистов с разным уровнем предоставляемых знаний — бакалавры, специалисты, магистры, аспиранты. Настоящую книгу можно рекомендовать в основном для бакалавров и специалистов. Часть материала рекомендуется для магистров и аспирантов.

2. Принято «понятийное», «аксиоматическое» изложение материала. При этом полагается хорошее знание соответствующих разделов естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин.

3. Принятая методика сродни современному «протокольному» способу предоставляемых сведений и предусматривает постоянное присутствие рядом вспомогательных инструментов — персонального компьютера и других мультимедийных средств.

4. Более тесно увязаны собственно антенные задачи и базовые дисциплины: теория электромагнитного поля и техническая электродинамика. Систематически используется решение граничных задач электродинамики для определения антенных характеристик.

5. Пожалуй, впервые в учебной литературе систематически используется запись полевых характеристик не только в главных плоскостях —  $E$  и  $H$ , а во всем спектре пространственных углов. Это позволяет определить импедансные и энергетические характеристики антенн: сопротивление излучения, входное сопротивление, коэффициент усиления.

6. Больше, чем в названных выше изданиях, уделяется внимание поляризационным характеристикам антенн. Это важно в связи с высокой насыщенностью окружающего пространства волнами различной природы, различных спектров и поляризаций и в связи с необходимостью решения актуальных задач электромагнитной совместимости.

7. Ряд разделов предусматривает учет слоистых диэлектриков для моделирования реальных условий работы антенн.

8. Пособие является «самодостаточным» в том смысле, что для сдачи экзамена на положительную оценку студенту можно не обращаться к другим источникам.

9. С другой стороны, пособие не является справочником по антеннам. Для получения частных сведений необходимо обращаться к соответствующим монографиям и статьям в периодических изданиях.

10. Мы не могли обойтись без «регионального» компонента. В этом качестве выступает глава шесть, посвященная полосковым антеннам. Это распространенный тип излучателей, отличающийся улучшенными массогабаритными характеристиками.

Подготовленное издание является учебным пособием, которое рекомендуется для студентов направлений: 210400 «Радиотехника» (квалификация (степень) «бакалавр»), 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (квалификация (степень) «бакалавр»), в соответствии с рабочими программами дисциплин: «Электромагнитные поля и волны», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Устройства СВЧ и антенны», «Антенны радиотехнических устройств и систем», «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства систем подвижной радиосвязи».

В основу учебного пособия был положен конспект лекций автора, который многие годы читал курсы «Электромагнитные поля и волны», «Техническая электродинамика», «Антенны и СВЧ устройства», «Электродинамика и распространение радиоволн».

Автор благодарен рецензентам пособия профессору С.В. Поршневу и доценту С.А. Баранову за труд по прочтению рукописи и ценные замечания, а также благодарен аспиранту Н.С. Князеву за помощь при оформлении издания.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-01396.)*

# ВВЕДЕНИЕ

Известны положение и роль передающих и приемных антенн в обобщенных радиотехнических и связных системах. За последние годы антенны получили дополнительное распространение в повседневной жизни, благодаря широкому использованию средств индивидуальной связи, телевидения и радиовещания.

С функциональной точки зрения, *передающая антенна* является устройством, преобразующим направленные электромагнитные волны линии передачи в расходящиеся волны окружающего пространства. *Приемная антенна* преобразует волны, имеющиеся в окружающем пространстве, в направленные волны линии передачи, соединяющей антенну с приемным устройством.

Принцип двойственности устанавливает эквивалентность между характеристиками приемных и передающих антенн одинаковой конструкции. В дальнейшем, в целях удобства и экономии времени, мы будем говорить, в основном, о передающих антеннах, отметив в отдельном разделе особенности характеристик приемных антенн.

Независимо от вида, антенное устройство характеризуется рядом основных параметров, основными из которых являются следующие:

1. Определение распределения в пространстве излученных антенной полей — напряженности электрического поля  $E$  и напряженности магнитного поля  $H$ . Эти характеристики записываются обычно в сферической системе координат и называются диаграммой направленности антенны. Антенны могут классифицироваться по виду диаграммы направленности — изотропная, слабонаправленная, высоконаправленная.

2. Коэффициент полезного действия антенны должен быть высоким, омические потери — малыми. В конструкции антенн используются металлы с высокой проводимостью и диэлектрики с малым тангенсом угла потерь.

3. И передающие и приемные антенны соединяются с линиями питания. Следовательно, входное сопротивление антенн должно быть согласованно с сопротивлением линии в возможно широкой полосе частот.

4. Антенна должна иметь минимальный вес и габариты. Следует, однако, отметить, что линейные размеры антенны однозначно

связаны с рабочей длиной волны. Некоторое уменьшение размеров связано с использованием высокочастотных диэлектриков в конструкции устройства, как например, в конструкции полосковых антенн.

При конструировании антенн большую роль играют расчетные методы, которые предшествуют конструкторским и инженерным разработкам. Вследствие того, что конструкция антенны содержит определенное количество элементов, размеры которых связаны с длиной волны, экспериментальная отработка оптимальных конструкций трудоемка и хотя бы приближенное определение электрических характеристик будущей антенны расчетными методами весьма желательно.