

О. И. Яковлев, В. П. Якубов,
В. П. Урядов, А. Г. Павельев

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

51260

Под редакцией
доктора технических наук, профессора
О. И. Яковлева



URSS
МОСКВА

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России».

**Яковлев Олег Изосимович, Якубов Владимир Петрович,
Урядов Валерий Павлович, Павельев Александр Геннадьевич**

Распространение радиоволн: Учебник / Под ред. О. И. Яковлева. — М.: ЛЕНАНД, 2009. — 496 с.

В настоящей книге изложены закономерности распространения сантиметровых, дециметровых и метровых радиоволн при космической и наземной связи. Дан анализ распространения коротких, средних и длинных радиоволн на различных трассах с учетом влияния поверхности и ионосферы. Рассмотрены закономерности отражения и рассеяния волн при радиолокации природных поверхностей и прохождения волн через сильно поглощающие среды. Описаны радиофизические методы мониторинга атмосферы и ионосферы, поверхности суши и моря.

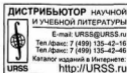
Книга предназначена для научных сотрудников и инженеров, аспирантов и студентов радиофизической и радиотехнической специальностей; она может быть использована как учебное пособие по курсу «распространение радиоволн».

ООО «ЛЕНАНД», 117312, г. Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.
Формат 60×90/16. Печ. л. 31. Зак. № 1248

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Полиграфический комбинат «Зуральск»,
640022, г. Курган, ул. К. Маркса, 106.

ISBN 978-5-9710-0183-6

© О. И. Яковлев, В. П. Якубов,
В. П. Урядов, А. Г. Павельев, 2008



5513 ID 65009



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельцев.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие | 7 |
| Глава 1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В РАДИОТЕХНИКЕ И РАДИОФИЗИКЕ | 11 |
| 1.1. Радиоволны и их применение | 13 |
| 1.2. Распространение радиоволн в природных средах..... | 19 |
| Глава 2. ОБЩИЕ СВОЙСТВА РАДИОВОЛН | 37 |
| 2.1. Волновое уравнение и плоские волны в однородной среде | 39 |
| 2.2. Сферические волны в однородной среде | 47 |
| 2.3. Особенности поляризации радиоволн..... | 52 |
| 2.4. Интегральные уравнения, метод Кирхгофа и зоны Френеля | 57 |
| 2.5. Лучевое приближение и метод геометрической оптики | 72 |
| 2.6. Групповая скорость и волновой пакет в среде с дисперсией | 81 |
| 2.7. Лемма Лоренца и теорема взаимности..... | 86 |
| Глава 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕЦИМЕТРОВЫХ И САНТИМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ И ИОНОСФЕРУ | 91 |
| 3.1. Коэффициент преломления и рефракция радиоволн | 93 |
| 3.2. Запаздывание радиоволн в атмосфере и ионосфере | 103 |
| 3.3. Влияние атмосферы и ионосферы на частоту радиоволн | 110 |
| 3.4. Принципы мониторинга ионосферы с помощью сигналов космических аппаратов | 115 |
| 3.5. Радиозатменный метод исследований атмосферы | 125 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Глава 4. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ..... | 139 |
| 4.1. Статистические характеристики неоднородностей коэффициента преломления..... | 141 |
| 4.2. Флуктуации фазы..... | 149 |
| 4.3. Корреляционные функции флуктуаций радиоволн..... | 155 |
| 4.4. Флуктуации амплитуды, фазы и частоты..... | 165 |
| Глава 5. РАДИОВОЛНЫ НАД ПЛОСКОЙ ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА СРЕД..... | 185 |
| 5.1. Распространение метровых и дециметровых радиоволн при высокоподнятых антеннах..... | 187 |
| 5.2. Распространение коротких и средних радиоволн при расположении антенн у границы раздела сред..... | 201 |
| Глава 6. ДИФРАКЦИЯ РАДИОВОЛН НА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ..... | 215 |
| 6.1. Теория дифракции радиоволн на поверхности Земли..... | 217 |
| 6.2. Закономерности дифракции радиоволн..... | 239 |
| Глава 7. ЗАГОРИЗОНТНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ РАДИОВОЛН..... | 249 |
| 7.1. Распространение радиоволн в тропосферном волноводе..... | 264 |
| 7.2. Дальнее тропосферное распространение радиоволн..... | 255 |
| 7.3. Дальнее ионосферное распространение метровых радиоволн..... | 272 |
| Глава 8. ИОНОСФЕРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН..... | 279 |
| 8.1. Характеристики ионосферной плазмы..... | 281 |
| 8.2. Общие закономерности распространения радиоволн в плазме..... | 289 |
| 8.3. Закономерности ионосферного распространения коротких радиоволн..... | 311 |
| 8.4. Методы мониторинга ионосферы..... | 335 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Глава 9. РАСПРОСТРАНЕНИЕ СРЕДНИХ И ДЛИННЫХ РАДИОВОЛН | 363 |
| 9.1. Особенности распространения средних радиоволн..... | 365 |
| 9.2. Нелинейные эффекты при распространении средних волн в ионосфере..... | 375 |
| 9.3. Длинные радиоволны в волноводе «поверхность — ионосфера» | 386 |
| Глава 10. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН ЧЕРЕЗ ПОГЛОЩАЮЩИЕ СРЕДЫ | 399 |
| 10.1. Поглощение волн в однородных средах..... | 401 |
| 10.2. Распространение радиоволн в воде | 404 |
| 10.3. Распространение волн в грунтах | 412 |
| 10.4. Распространение радиоволн в лесу | 422 |
| 10.5. Поглощение миллиметровых волн в атмосфере | 426 |
| Глава 11. ОТРАЖЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ РАДИОВОЛН ПОВЕРХНОСТЯМИ..... | 433 |
| 11.1. Общие соотношения | 435 |
| 11.2. Отражение радиоволн от сферической поверхности | 446 |
| 11.3. Рассеяние радиоволн неровной поверхностью | 452 |
| 11.4. Закономерности рассеяния радиоволн и методы исследований поверхностей | 468 |
| Система единиц и размерности..... | 483 |
| Литература | 485 |
| Предметный указатель..... | 489 |