

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

**СЕТИ СВЯЗИ  
ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СИСТЕМ  
В УСЛОВИЯХ КАНАЛА С ПЕРЕОТРАЖЕНИЯМИ  
НА ОСНОВЕ OFDM-ММО-ПРИНЦИПОВ**

*Монография*

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

УДК 621.376  
ББК 32.811.3  
Ф338

*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:**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
начальник Службы качества, ученый секретарь АО «Таганрогский  
научно-исследовательский институт связи» *А. Ф. Гришко*

кандидат техн. наук, заведующий отделом АО «Научно-конструкторское  
бюро вычислительных систем», г. Таганрог *Д. С. Толкачев*

**Федосов, В. П.**

Ф338 Сети связи для многопользовательских систем в условиях канала с переотражениями на основе OFDM-MIMO-принципов : монография / В. П. Федосов, В. В. Воронин, С. В. Кучерявенко, А. А. Легин, А. В. Ломакина, Р. Р. Ибадов ; под редакцией В. П. Федосова ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. – 165 с.

ISBN 978-5-9275-3373-2

Монография содержит результаты разработки программных средств, обеспечивающих высокоскоростную передачу данных в условиях канала с переотражениями для применения в телекоммуникационных системах радиодоступа. Представлены разработанные авторами алгоритмы кодирования и декодирования на основе сочетания MIMO (*Multiply Input – Multiply Output*) и OFDM (*Orthogonal Frequency – Division Multiplexing*). Монография предназначена для специалистов по радиосвязи, магистрантов и аспирантов соответствующих направлений.

УДК 621.376  
ББК 32.811.3

ISBN 978-5-9275-3373-2

- © Южный федеральный университет, 2019
- © Федосов В. П., Воронин В. В., Кучерявенко С. В., Легин А. А., Ломакина А. В., Ибадов Р. Р., 2019
- © Оформление. Макет. Издательство Южного федерального университета, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	1
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ</b> .....	5
1.1. Классические системы беспроводной связи .....	5
1.2. Технология ортогонального частотного мультиплексирования ....	6
1.3. Технология пространственно-временного кодирования .....	9
1.4. Пропускная способность канала .....	12
1.5. Системы связи на основе MIMO-OFDM .....	14
1.6. Оценка канала по методу MMSE .....	15
Выводы .....	17
Список литературы к разделу 1 .....	17
<b>2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ 3D-МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА MIMO</b> .....	20
2.1. Структура антенной системы приемника и передатчика .....	21
2.2. Влияние эффекта Доплера на замирания в канале .....	22
2.3. Математическая и геометрическая модель канала связи .....	23
Выводы .....	26
Список литературы к разделу 2 .....	26
<b>3. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ КАНАЛА С ПЕРЕОТРАЖЕНИЯМИ</b> .....	28
3.1. Структурная схема приемопередающей системы связи .....	28
3.2. Адаптивные системы в беспроводной связи .....	36
3.3. Адаптивный алгоритм обработки пространственно-временных сигналов в системах беспроводной связи .....	38
Выводы .....	41
Список литературы к разделу 3 .....	42
<b>4. МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ СИСТЕМЫ MIMO</b> .....	44
4.1. Математическая модель для многопользовательской системы MIMO .....	46
4.2. Пропускная способность канала MIMO в системе Multi-User .....	48
Выводы .....	50
Список литературы к разделу 4 .....	50

<b>5. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ВЫХОДЕ КАНАЛА СВЯЗИ</b> .....	53
5.1. Методы описания и распознавания текстур .....	63
5.2. Марковские случайные поля .....	73
Список литературы к разделу 5 .....	76
<b>6. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ КАНАЛА С ПЕРЕОТРАЖЕНИЯМИ</b> .....	83
6.1. Цифровая обработка одномерных и двумерных сигналов в системе первичной обработки: улучшение, шумоподавление, восстановление потерянных областей и реконструкция .....	83
6.2. Цифровая обработка одномерных и двумерных сигналов в системе вторичной обработки: идентификации и преобразования информации, полученной на основе изображений .....	99
6.3. Комплексная обработка оптических изображений и других каналов измерительной информации .....	107
6.4. Распознавание образов в системах технического зрения автономных роботизированных комплексов .....	140
Список литературы к разделу 6 .....	153
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	162

*Научное издание*

**ФЕДОСОВ Валентин Петрович**  
**ВОРОНИН Вячеслав Владимирович**  
**КУЧЕРЯВЕНКО Светлана Валентиновна**  
**ЛЕГИН Андрей Алексеевич**  
**ЛОМАКИНА Анна Владимировна**  
**ИБАДОВ Рагим Рауфевич**

**СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СИСТЕМ  
В УСЛОВИЯХ КАНАЛА С ПЕРЕОТРАЖЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ  
OFDM-МИМО-ПРИНЦИПОВ**

*Монография*

Редактор *З. И. Надточий*  
Корректор *З. И. Надточий*

Подписано в печать 23.12.2019 г.  
Бумага офсетная. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. лист. 9,59.  
Уч. изд. л. 6,65. Заказ № 7431. Тираж 50 экз.

Издательство Южного федерального университета.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции  
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.  
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.