

Е. Т. Агеева

Н. Т. Афанасьев

Д. Ким

Н. И. Михайлов

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА
В ВОЗМУЩЁННОМ
ИНФОРМАЦИОННОМ КАНАЛЕ**



**ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

**Е. Т. АГЕЕВА, Н. Т. АФАНАСЬЕВ,
Д. КИМ, Н. И. МИХАЙЛОВ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
СИГНАЛА В ВОЗМУЩЁННОМ
ИНФОРМАЦИОННОМ КАНАЛЕ**

Старый Оскол
ТНТ
2019

УДК 519.8
ББК 22.18
А 239

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор *Н. М. Буднев*
доктор технических наук, профессор *Ю. Н. Алпатов*

Агеева Е. Т., Афанасьев Н. Т., Ким Д., Михайлов Н. И.
А 239 Математическое моделирование характеристик сигнала в возмущённом информационном канале : монография / Е. Т. Агеева [и др.]. — Старый Оскол : ТНТ, 2019. — 128 с.

ISBN 978-5-94178-501-8

В монографии рассмотрена лучевая математическая модель распространения сигнала в информационном канале, подверженном детерминированным и случайным воздействиям. Излагается аппарат математического моделирования и оригинальные алгоритмы расчёта средних и флуктуационных траекторных характеристик сигнала с использованием численных и аналитических методов. При реализации алгоритмов использовано пакетное программирование. Эффективность работы программного вычислительного комплекса продемонстрирована на примерах решения задач распространения декаметрового радиосигнала в нестабильном ионосферном канале связи.

Книга предназначена для научных сотрудников и инженеров в области мониторинга состояния информационных каналов различного назначения, а также может быть использована магистрантами и аспирантами направлений «Прикладная математика и информатика», «Физика», «Радиофизика».

УДК 519.8
ББК 22.18

ISBN 978-5-94178-501-8

© Агеева Е. Т., Афанасьев Н. Т., Ким Д., Михайлов Н. И., 2019
© Оформление. ООО «ТНТ», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ЛУЧЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА В ИНФОРМАЦИОННОМ КАНАЛЕ С ВОЗМУЩЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	7
1.1. Лучевые представления	7
1.2. Решение стохастической системы траекторных дифференциальных уравнений	10
1.3. Краевые траекторные задачи распространения сигнала в возмущённом информационном канале	18
1.4. Асимптотические решения лучевых уравнений с учётом кривизны информационного канала	24
1.5. Стохастические интегралы по траекториям	34
ГЛАВА 2. ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОМ КАНАЛЕ	43
2.1. Интегралы для дисперсий траекторных характеристик	43
2.2. Преобразования интегралов для дисперсии направления распространения сигнала в случае квазиоднородного случайного поля неоднородностей канала	46
2.3. Вычисление интегралов для статистических характеристик сигнала в нестационарном информационном канале	52
2.4. Функции взаимной корреляции флуктуаций траекторных характеристик	55
2.5. Оперативные численно-аналитические алгоритмы расчёта статистических моментов траекторных характеристик	59
2.6. Программный вычислительный комплекс для оценки состояния информационного канала с возмущёнными параметрами	65

ГЛАВА 3. РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ	68
3.1. Моделирование состояния декаметрового ионосферного радиоканала в естественно-возмущённых условиях	68
3.2. Оценка влияния облака искусственной ионосферной ионизации на траекторные характеристики радиосигнала	86
3.3. Моделирование девиаций частоты радиосигнала в нестационарном ионосферном канале	94
3.4. Сравнение результатов расчётов статистических траекторных характеристик с данными других вычислительных экспериментов	103
3.5. Сравнение результатов численно-аналитического моделирования состояния радиоканала с данными натурального эксперимента	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	116