



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

К.А. Рыбаков, В.В. Рыбин

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
И ДРОБНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Издательство МАИ

К.А. РЫБАКОВ, В.В. РЫБИН

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
И ДРОБНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Москва
Издательство МАИ
2016

УДК 519.63
ББК 22.18
Р93

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, проф. *Д.Л. Ревизников*

д-р физ.-мат. наук, проф. *М.М. Хрусталёв*

Рыбаков К.А., Рыбин В.В.

Р93 Моделирование распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления спектральным методом. — М.: Изд-во МАИ, 2016. — 160 с.: ил.

ISBN 978-5-4316-0307-5

Изложены современные методы моделирования и анализа распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления, основанные на спектральной форме математического описания.

Для специалистов и инженеров, интересующихся современными задачами теории управления и методами их решения, а также для студентов старших курсов и аспирантов технических вузов и университетов.

Научное издание

**Рыбаков Константин Александрович
Рыбин Владимир Васильевич**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
И ДРОБНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

Редактор Л.А. Митина

Подписано в печать 15.06.2016.

Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.

Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 10,00.

Тираж 500 экз. Зак. 632/408.

Отпечатано с готового оригинал-макета.

Издательство МАИ

(МАИ), Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3 125993

Типография Издательства МАИ

(МАИ), Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3 125993

ISBN 978-5-4316-0307-5

© Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Спектральная форма математического описания распределенных систем управления	9
1.1. Биортонормированные базисные системы функций	9
1.1.1. Биортонормированные базисные системы для представления функций времени	9
1.1.2. Биортонормированные базисные системы для представления функций вектора состояния	16
1.1.3. Биортонормированные базисные системы для представления функций времени и вектора состояния	20
1.2. Спектральные характеристики функций	23
1.2.1. Спектральные характеристики функций времени	23
1.2.2. Спектральные характеристики функций вектора состояния	25
1.2.3. Спектральные характеристики функций времени и вектора состояния	27
1.3. Спектральные характеристики линейных операторов	29
1.3.1. Основные определения	29
1.3.2. Спектральные характеристики операторов умножения	33
1.3.3. Спектральные характеристики операторов отражения	36
1.3.4. Спектральные характеристики операторов интегрирования дробного порядка	40
1.3.5. Спектральные характеристики операторов дифференцирования дробного порядка	46
Глава 2. Моделирование распределенных и дробно-распределенных процессов и систем спектральным методом	65
2.1. Особенности применения пакетов расширения спектрального метода	65
2.2. Моделирование диффузионно-волновых процессов спектральным методом	68

2.2.1. Диффузионно-волновые уравнения и процессы	68
2.2.2. Примеры решения волновых, диффузионных и диффузионно-волновых уравнений	74
2.3. Моделирование линейных распределенных и дробно-распределенных систем управления	91
2.3.1. Основные спектральные алгоритмы определения характеристик выходных сигналов линейных распределенных систем при детерминированных и случайных воздействиях	91
2.3.2. Базовые уравнения одномерных объектов с распределенными параметрами	95
2.3.3. Типовые одномерные распределенные переходные блоки	95
2.3.4. Примеры моделирования линейных распределенных систем управления	97
Приложение 1. Многомерные матрицы	117
Приложение 2. Дробное интегрирование и дифференцирование	126
Приложение 3. Спектральный метод решения краевых задач для линейных дифференциальных уравнений	136
Предметный указатель	151
Библиографический список	154