



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

В.В. Рыбин

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ  
НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ  
В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Издательство МАИ

**В.В. РЫБИН**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ  
НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ  
В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ**

Москва  
Издательство МАИ  
2011

Р 93 **В.В. Рыбин**

Моделирование нестационарных непрерывно-дискретных систем управления спектральным методом в системах компьютерной математики. — М.: Изд-во МАИ, 2011. — 220 с.: ил.  
ISBN 978-5-4316-0005-0

Монография содержит результаты научных исследований, выполненных автором на кафедре “Математическая кибернетика” Московского авиационного института (государственного технического университета). Она посвящена актуальной проблеме моделирования нестационарных непрерывно-дискретных систем управления спектральным методом в системах компьютерной математики. В ней изложены основы спектрального метода анализа нестационарных линейных непрерывно-дискретных систем управления. Рассмотрена программная реализация спектрального метода в виде пакетов расширения систем компьютерной математики и визуального моделирования. Применение этих пакетов продемонстрировано на примерах анализа линейных непрерывно-дискретных систем управления летательными аппаратами. Она будет полезна студентам старших курсов и аспирантам технических вузов и университетов, а также инженерам, интересующимся современными методами описания, анализа и моделирования в СКМ и СВМ задач теории управления.

*Рецензенты:*

д-р физ.-мат. наук, проф. *В.И. Киреев*;

заслуженный деят. науки РФ, д-р физ.-мат. наук, проф.  
*В.В. Формалев*

ISBN 978-5-4316-0005-0

© Московский авиационный институт  
(государственный технический  
университет), 2011

© Рыбин В.В., 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие . . . . .	7
1. Описание линейных непрерывно-дискретных систем управления в спектральной области на отрезке $[0, t]$ . . . . .	11
1.1. Основные понятия и определения . . . . .	11
1.1.1. Описание детерминированных сигналов . . . . .	11
1.1.2. Описание случайных сигналов . . . . .	18
1.1.3. Описание линейных непрерывных, дискрет- ных и непрерывно-дискретных систем управления . . . . .	20
1.2. Спектральные алгоритмы вычисления ДНПФ элементарных звеньев непрерывно-дискретных систем . . . . .	25
1.3. Основные свойства НСХ и НПФ непрерывно-дис- кретных сигналов и систем . . . . .	34
1.4. Спектральные алгоритмы вычисления ДНПФ ти- повых звеньев непрерывно-дискретных систем . . . . .	45
1.5. Спектральные алгоритмы определения характе- ристик выходных сигналов линейных непрерывно-дис- кретных систем управления при детерминированных и случайных воздействиях . . . . .	53
2. Базисные системы функций на отрезке $[0, t]$ . . . . .	68
2.1. Системы непрерывных и дискретных полиномов . . . . .	68
2.1.1. Система непрерывных полиномов Гегенбауэра . . . . .	68
2.1.2. Система дискретных полиномов Хана—Ге- генбауэра . . . . .	74
2.1.3. Система дискретных полиномов Кравчука . . . . .	80
2.2. Системы непрерывных и дискретных функций Уолша и Хаара . . . . .	81

2.3. Системы непрерывных и дискретных комплексных экспоненциальных и тригонометрических функций . . . . .	84
2.4. Системы непрерывных и дискретных вейвлет-функций . . . . .	85
3. Пакеты расширения прикладных программ спектрального метода для СКМ и СВМ . . . . .	87
3.1. Пакет прикладных программ спектрального метода MLSY_SM . . . . .	87
3.1.1. Примеры разработки программных модулей пакета MLSY_SM элементарных операций спектрального метода . . . . .	88
3.1.2. Примеры разработки программных модулей пакета MLSY_SM элементарных вейвлет-операций . . . . .	97
3.2. Пакет расширения Spektr_SM+Simulink+Matlab . . . . .	110
3.2.1. Краткая характеристика системы математического визуального моделирования Simulink . . . . .	110
3.2.2. Библиотека программных блоков пакета расширения Spektr_SM+Simulink+Matlab . . . . .	115
3.2.3. Особенности применения пакета Spektr_SM в системе Simulink для анализа систем управления при детерминированных и случайных воздействиях . . . . .	119
3.3. Пакет расширения Spektr_SM+VisSim+Mathcad . . . . .	122
3.3.1. Краткая характеристика системы математического визуального моделирования VisSim . . . . .	122
3.3.2. Библиотека программных блоков пакета расширения Spektr_SM+VisSim+Mathcad . . . . .	125
3.3.3. Особенности применения пакета Spektr_SM в системе VisSim для анализа систем управления при детерминированных и случайных воздействиях . . . . .	128
4. Примеры расчета нестационарных линейных систем управления спектральным методом в системах компьютерной математики . . . . .	130

..1. Примеры выполнения элементарных операций пектрального метода в СКМ Mathcad в биортонор- ированных вейвлет-базисах . . . . .	130
..2. Пример анализа и параметрического синтеза истемы управления самонаводящейся ракеты в СКМ Mathcad . . . . .	134
4.2.1. Математическая модель продольного кана- ла управления и задачи ее анализа . . . . .	134
4.2.2. Спектральный расчет непрерывной систе- мы управления в СКМ Mathcad с применением па- кета расширения MLSY_SM . . . . .	139
4.2.3. Спектральный расчет непрерывно-дискрет- ной системы управления в СКМ Mathcad с приме- нением пакета расширения MLSY_SM . . . . .	144
1.3. Примеры анализа и параметрического синтеза системы управления в СКМ Matlab с применением пакета расширения Spekr_SM . . . . .	148
4.3.1. Пример анализа бокового канала системы управления ЛА посадки на Луну . . . . .	148
4.3.2. Пример анализа продольного канала систе- мы управления ЛА посадки на Марс . . . . .	155
4.3.3. Пример анализа и параметрического синте- за системы управления самонаводящейся ракеты . . .	165
1.4. Пример анализа системы управления (делитель) в СКМ VisSim с применением пакета расширения Spekr_SM . . . . .	168
4.4.1. Математическая модель делителя и задачи ее анализа . . . . .	169
4.4.2. Формирование визуальной модели непре- рывной системы управления и решение основной задачи ее анализа при детерминированном и слу- чайном воздействии . . . . .	170
4.4.3. Формирование визуальной модели непре- рывно-дискретной системы управления и реше- ние основной задачи ее анализа при детерминиро- ванном воздействии . . . . .	175

<i>Приложения</i> . . . . .	177
<i>Приложение 1. Основы вейвлет-анализа сигналов</i> . . . . .	177
<i>Приложение 2. Вычисление НСХ в базисе классических ортогональных полиномов</i> . . . . .	203
<i>Приложение 3. Описание идентификаторов и процедур элементарных операций спектрального метода</i> . . . . .	209
<i>Библиографический список</i> . . . . .	216