

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ
И

ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

№ 4, 2016

Электронный журнал,
рег. Эл. № ФС77-39410 от 15.04.2010

ISSN 1817-2172

<http://www.math.spbu.ru/diffjournal>

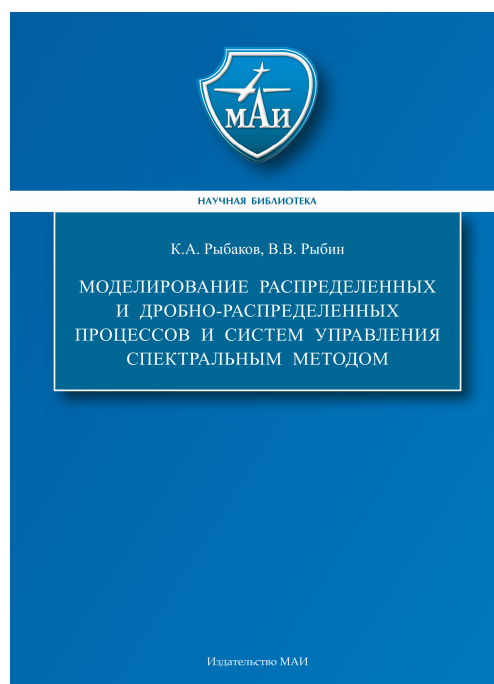
e-mail: jodiff@mail.ru

Новые книги

Моделирование распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления спектральным методом

К. А. Рыбаков, В. В. Рыбин

Монография «Моделирование распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления спектральным методом» предназначена для инженеров и научных работников, а также для студентов старших курсов и аспирантов технических вузов и университетов, специализирующихся в области математического моделирования и интересующихся задачами теории управления распределенными и дробно-распределенными системами, спектральными методами моделирования и анализа таких систем [1].



Представленный материал обобщает результаты научных исследований, выполненных авторами на кафедре математической кибернетики факультета прикладной математики и физики Московского авиационного института (национального исследовательского университета), продолжая серию «Научная библиотека МАИ», в которой ранее были изданы другие монографии авторов, посвященные применению спектральной формы математического описания к решению различных задач теории управления [2–5].

Книга может быть использована при чтении спецкурсов, ориентированных на изучение современных методов моделирования и анализа распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления, а также для самостоятельного изучения изложенных методов. Она содержит необходимый теоретический материал. Применение методов и алгоритмов демонстрируется при решении различных модельных и прикладных задач с помощью системы компьютерной математики Mathcad.

Системы управления с распределенными параметрами как объекты математического моделирования описываются дифференциальными уравнениями в частных производных, интегральными, интегро-дифференциальными уравнениями или системами уравнений различной природы. Они характеризуются пространственной распределенностью управляемых величин и управляющих воздействий. Подобные системы могут описывать процессы теплопроводности, диффузии, электромагнетизма, могут применяться в задачах аэро- и гидродинамики, экономики, биологии и т.д.

Одним из направлений изучения систем с распределенными параметрами и их математического моделирования является структурная теория распределенных систем, разработанная А.Г. Бутковским [6, 7]. В качестве основной динамической характеристики линейных систем с распределенными параметрами в структурной теории используется импульсная переходная функция, а для стационарных систем с распределенными параметрами вводится передаточная функция как преобразование Лапласа импульсной переходной функции по времени. На базе перечисленных характеристик формируются математические модели таких систем.

Другим направлением изучения систем с распределенными параметрами и их математического моделирования является спектральная теория систем управления, разработанная В.В. Семеновым для анализа и синтеза нестационарных линейных непрерывных детерминированных и стохастических

систем управления [8, 9], а затем примененная к задачам анализа и синтеза линейных непрерывных, дискретных, непрерывно-дискретных и нелинейных непрерывных детерминированных и стохастических систем управления [2–5, 10, 11]. Спектральная теория применялась и к системам управления с распределенными параметрами, а также в задачах фильтрации сигналов в стохастических системах, параметрической и непараметрической идентификации систем управления. В качестве основной динамической характеристики линейных систем с распределенными параметрами в спектральной теории используются спектральные характеристики линейных операторов (матричные передаточные функции), которые могут быть найдены по импульсным переходным функциям типовых блоков. На базе этих спектральных характеристик формируются математические модели нестационарных систем с распределенными параметрами. Для компьютерного моделирования спектральным методом систем управления, находящихся под воздействием детерминированных и случайных сигналов, разработаны пакеты расширения MLSY_SM систем компьютерной математики Mathcad, Maple, Mathematica и Matlab, а на их основе пакеты расширения Spektr_SM + Matlab + Simulink и Spektr_SM + VisSim + dll, Spektr_SM + VisSim + Mathcad для визуального моделирования [3]. На решение задач анализа, синтеза и идентификации стохастических систем управления ориентирован программный комплекс Spectrum [12].

Объекты систем управления с сосредоточенными и распределенными параметрами, а также регуляторы и различные измерители сигналов могут описываться уравнениями различной природы, содержащими интегралы и производные дробного порядка. Это связано с желанием полнее описать сущность и природу процессов, протекающих в объектах с распределенными параметрами, и использовать их для управления в соответствующих системах. В настоящее время такие процессы изучаются в новом разделе теоретической и математической физики — дробной динамике.

Спектральный метод моделирования систем управления целого, дробного и смешанного порядка с сосредоточенными параметрами, находящихся под воздействием детерминированных и случайных сигналов, рассмотрен в работе [5]. В представленной книге [1] рассматривается применение спектрального метода анализа непрерывных распределенных процессов и систем управления целого, дробного и смешанного порядка. Все спектральные характеристики сигналов и линейных операторов определяются относительно биортонор-

мированных базисных функций. Для компьютерного моделирования спектральным методом линейных непрерывных распределенных систем управления целого, дробного и смешанного порядка, находящихся под воздействием детерминированных и случайных сигналов, проведена модификация пакета расширения MLSY_SM Mathcad [3]. Применение модифицированного пакета демонстрируется на примерах решения одномерных волновых, диффузионных и диффузионно-волновых уравнений, которые можно рассматривать как уравнения объектов с распределенными параметрами. Рассматриваются примеры моделирования распределенных систем управления, в частности пример моделирования системы автоматического управления ядерной энергетической установкой при условии ее описания линейными распределенными кинетическими уравнениями и использования дробного ПИД-регулятора.

Первая глава книги посвящена основам спектральной формы математического описания непрерывных распределенных систем управления целого, дробного и смешанного порядка в биортогональных базисах. В ней спектральные алгоритмы описания непрерывных распределенных систем управления целого порядка в ортогональных базисах [2, 4, 11] обобщаются на случай непрерывных распределенных систем управления дробного порядка в биортогональных базисах.

Во второй главе рассматриваются основные спектральные алгоритмы определения характеристик выходных сигналов линейных непрерывных распределенных систем управления при детерминированных и случайных воздействиях. Изучаются некоторые типовые распределенные блоки и их спектральные характеристики — матричные передаточные функции. Рассматриваются примеры решения одномерных волновых, диффузионных и диффузионно-волновых уравнений спектральным методом с помощью модифицированного пакета расширения MLSY_SM Mathcad для моделирования распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления. Изучаются примеры моделирования распределенных объектов и систем управления спектральным методом, в частности пример моделирования системы автоматического управления ядерной энергетической установкой.

В книге содержатся приложения, которые систематизируют справочный материал, касающийся применения математического аппарата многомерных матриц, дробного интегрирования и дифференцирования, решения краевых задач с использованием спектральной формы математического описания.

Список литературы

- [1] Рыбаков К.А., Рыбин В.В. Моделирование распределенных и дробно-распределенных процессов и систем управления спектральным методом. — М.: Изд-во МАИ, 2016.
- [2] Пантелеев А.В., Рыбаков К.А. Прикладной вероятностный анализ нелинейных систем управления спектральным методом. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.
- [3] Рыбин В.В. Моделирование нестационарных непрерывно-дискретных систем управления спектральным методом в системах компьютерной математики. — М.: Изд-во МАИ, 2011.
- [4] Пантелеев А.В., Рыбаков К.А. Методы и алгоритмы синтеза оптимальных стохастических систем управления при неполной информации. — М.: Изд-во МАИ, 2012.
- [5] Рыбин В.В. Моделирование нестационарных систем управления целого и дробного порядка проекционно-сеточным спектральным методом. — М.: Изд-во МАИ, 2013.
- [6] Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. — М.: Наука, 1975.
- [7] Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. — М.: Наука, 1977.
- [8] Солодовников В.В., Семенов В.В. Спектральная теория нестационарных систем управления. — М.: Наука, 1974.
- [9] Солодовников В.В., Семенов В.В., Пешель М., Недо Д. Расчет систем управления на ЦВМ: спектральный и интерполяционный методы. — М.: Машиностроение, 1979.
- [10] Семенов В.В., Рыбин В.В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета нестационарных непрерывно-дискретных систем управления ЛА спектральным методом. — М.: МАИ, 1984.
- [11] Пантелеев А.В., Рыбаков К.А., Сотскова И.Л. Спектральный метод анализа нелинейных стохастических систем управления. — М.: Вузовская книга, 2015.
- [12] Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.