

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

А. Д. Семенов, М. А. Щербаков

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

«Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области автоматизированного машиностроения
(УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки
"Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств"; "Автоматизированные технологии и производства"»

В двух книгах

Книга 1

Пенза
Издательство ПГУ
2012

УДК 621.391:519.21

С30

Р е ц е н з е н т ы:

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах
Московского государственного института электроники и математики
(технического университета)

А. Ф. Каперко;

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой информационных систем и технологий
Самарского государственного аэрокосмического университета

С. А. Прохоров

Семенов, А. Д.

С30 Основы теории управления и идентификации в технических системах : учеб. пособие : в 2 кн. / А. Д. Семенов, М. А. Щербаков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Кн. 1. – 314 с.

ISBN 978-5-94170-425-5 (кн. 1)

ISBN 978-5-94170-424-8

Рассматриваются основные методы автоматического управления с использованием математического описания этих систем в пространстве состояний, моделей на базе матричных операторов и рядов Вольтерра и нейронных сетей, методы анализа и синтеза линейных систем, а также структурированные модели систем управления, передаточные функции, структурные схемы, временные и частотные характеристики. Изложены вопросы наблюдаемости, управляемости и устойчивости одномерных и многомерных систем управления, удовлетворяющих различным критериям качества. Приводятся основные методы улучшения качества процессов управления и синтеза автоматических регуляторов. Проанализированы основные методы их идентификации, показаны особенности применения временных, частотных, спектральных, стохастических непараметрических и параметрических методов идентификации. Изложение сопровождается многочисленными примерами, поясняющими технологию использования MATLAB для решения задач управления и идентификации.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Автоматика и телемеханика» и предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Автоматизированные технологии и производства», «Автоматизация и управление».

УДК 621.391:519.21

ISBN 978-5-94170-425-5 (кн. 1)
ISBN 978-5-94170-424-8

© Пензенский государственный
университет, 2012

Предисловие

Управление обеспечивает целенаправленное приспособление системы к внешним воздействиям. Независимо от физического характера системы, процессы управления, протекающие в ней, подчиняются некоторым общим закономерностям и характеризуются сходными явлениями. Эти закономерности и явления изучает кибернетика – наука об управлении динамическими системами.

Кибернетика состоит из двух греческих слов: «кибер» – над; «натиус» – моряк. Буквально «кибернатиус» – старший над моряками.

Впервые слово «кибернетика» было употреблено русским ученым А. А. Богдановым, который рассматривал эту науку применительно к управлению человеческим обществом.

В 1948 г. Н. Винер в своей книге «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» придал этому термину современное понятие.

Кибернетику определяют также как науку о способах восприятия, передачи, хранения, переработки и использования информации.

Современная кибернетика состоит из ряда разделов, представляющих собой самостоятельные научные направления. Теоретическое ядро кибернетики составляют теория информации, теория алгоритмов, теория автоматов, исследование операций, теория автоматического управления, теория распознавания образов.

Управлением техническими системами занимается техническая кибернетика, которая включает в себя теорию автоматического управления, теорию оптимальных систем, адаптивных и обучающихся систем, теорию надежности. Главная задача технической кибернетики – синтез технических систем управления, обеспечивающих достижение требуемых показателей качества, характеризующих их функционирование. Основным математический аппарат технической кибернетики: теория дифференциальных уравнений, функциональный анализ, вариационное исчисление, матема-

тическое программирование, математическая логика, теория графов, теория вероятностей.

Управление как совокупность целенаправленных действий предполагает наличие некоторого алгоритма, по которому эти действия происходят. В свою очередь для разработки алгоритма необходимо иметь некоторое представление об управляемом объекте. Невозможно управлять автомобилем, не имея представления об его устройстве, назначении органов управления и правилах движения. Общее представление об управляемом объекте задается с помощью модели объекта. Модель (от лат. *modulus* – мера, образец, норма) – физическая система, устройство, схема, установка, система машин или математическое описание компонентов и функций, отображающих существенные свойства какого-либо объекта, процесса или явления.

Теория управления в первую очередь имеет дело не с реальными объектами, а с их математическими моделями. В практике создания систем управления очень часто имеют место случаи, когда необходимо спроектировать систему управления для объекта, который еще не существует. В первую очередь это относится к системам управления новыми технологическими процессами. Так создавались системы управления космическими аппаратами, ядерными реакторами, биотехнологическими установками и т.п.

Построение математической модели достаточно сложного объекта представляет собой довольно трудоемкий процесс, предполагающий структурную и параметрическую идентификацию объекта. Идентификация (отождествление) в технике связана с процессом построения модели исследуемого объекта. В данном учебном пособии под идентификацией понимается процесс построения математической модели технического устройства (объекта) по его измеряемым входным и выходным сигналам. При этом под объектом можно понимать любые материальные (физические процессы, технические объекты) и нематериальные (знаковые) элементы и системы.

Таким образом, задачи управления и идентификации тесно связаны между собой. Для разработки высокоэффективного алгоритма управления необходимо иметь довольно точную модель объекта, которая может быть получена в результате идентификации. В свою очередь проведение идентификации какого-либо объекта ставит целью получение его математической модели, которая

в дальнейшем будет использована для решения задач контроля и управления этим объектом.

В настоящее время в технической литературе приводится значительное количество методов управления и идентификации динамических объектов. В учебном пособии основное внимание уделяется методам анализа и синтеза линейных систем, методам автоматического управления с использованием математического описания этих систем в пространстве состояний, методам параметрической идентификации, начиная от простейших методов, основанных на использовании временных и частотных характеристик объекта и заканчивая современными методами с использованием матричных операторов и нейронных сетей. Изложение сопровождается многочисленными примерами, поясняющими технологию решения задач управления и идентификации с использованием системы инженерных и научных расчетов MATLAB.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ЧАСТЬ 1. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ..	6
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	12
1.1. Обобщенные аналитические модели объектов управления	12
1.2. Линеаризация нелинейных моделей объектов управления	17
2. ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	24
2.1. Представление систем управления в пространстве состояний	24
2.2. Линейные преобразования в пространстве состояний	30
2.3. Структурированные модели на основе передаточных функций.....	41
2.4. Динамические звенья и структурные схемы систем управления. Правила преобразования структурных схем	49
2.5. Временные характеристики линейных систем	56
2.6. Частотные характеристики линейных систем	60
3. ЛИНЕЙНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ И ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ.....	70
3.1. Квантование информации.....	70
3.2. Решетчатые функции и дискретные передаточные функции.....	74
3.3. Теоремы z -преобразования	77
3.4. Разностные уравнения и АРСС-модели	79
3.5. Правила преобразования линейных импульсных систем.....	85
3.6. Представление дискретных систем управления в пространстве состояний	87
3.7. Временные характеристики линейных импульсных систем.....	93
3.8. Частотные характеристики линейных импульсных систем.....	97
4. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НА БАЗЕ МАТРИЧНЫХ ОПЕРАТОРОВ И РЯДОВ ВОЛЬТЕРРА	103
4.1. Математические модели на базе матричных операторов.	103

4.2. Математические модели нелинейных систем на базе функциональных рядов Вольтерра–Винера.....	110
4.3. Аппроксимация нелинейной системы ортогональными полиномами	119
4.4. Построение ортогональных функционалов для класса псевдослучайных сигналов	127
5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	134
5.1. Биологический и искусственный нейроны	134
5.2. Структуры нейронных сетей	138
5.3. Организация памяти и принципы обучения	139
5.4. Персептрон	144
5.5. Алгоритм обратного распространения ошибки	147
5.6. Стохастические алгоритмы обучения	152
5.7. Алгоритм встречного распространения ошибки.....	156
5.8. Модели ассоциативной памяти	162
5.9. Когнитивные карты	167
5.10. Динамические нейронные сети	173
6. УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	178
6.1. Устойчивость систем в пространстве состояний. Первая теорема Ляпунова	178
6.2. Устойчивость линейных систем. Алгебраические критерии устойчивости	181
6.3. Частотные критерии	185
6.4. Особые точки фазовых траекторий	197
6.5. Особые линии фазовых траекторий.....	202
6.6. Понятие абсолютной устойчивости. Прямой метод Ляпунова.....	214
6.7. Устойчивость линейных импульсных систем	218
6.8. Понятие наблюдаемости и управляемости линейных систем	224
7. КАЧЕСТВО СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	231
7.1. Критерии качества	231
7.2. Временные показатели качества	233
7.3. Корневые критерии качества.....	234
7.4. Частотные показатели качества	237
7.5. Интегральные критерии	242
7.6. Критерии точности	245

8. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ	253
8.1. Проблема улучшения качества процессов управления	253
8.2. Повышение точности систем управления	254
8.3. Увеличение запаса устойчивости систем управления	262
8.4. Использование автоматических регуляторов	273
8.5. Динамические характеристики систем с линейными регуляторами	276
9. СИНТЕЗ И НАСТРОЙКА АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ	283
9.1. Основные понятия о синтезе автоматических систем управления	283
9.2. Экспериментальные методы настройки ПИД-регуляторов	286
9.3. Синтез систем методом последовательной коррекции с подчиненным регулированием координат	288
9.4. Синтез регуляторов по минимуму среднего квадрата ошибки	295
9.5. Синтез регуляторов для объектов с запаздыванием по частотным показателям качества	297
9.6. Синтез регуляторов при модальном управлении	299
9.7. Аналитическое конструирование регуляторов	304
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	307

Учебное издание

Семенов Анатолий Дмитриевич,
Щербаков Михаил Александрович

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ
И ИДЕНТИФИКАЦИИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

В двух книгах

Книга 1

Редактор *Ю. В. Коломиец*
Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*

Подписано в печать 25.09.12. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 18,25. Тираж 100.
Заказ № 717.1.

Издательство ПГУ.
440026, Пенза, Красная, 40.
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@pnzgu.ru