

Оглавление

От издательства	7
РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	9
Глава 1. Виды систем автоматического управления	9
§ 1.1. Понятие о замкнутых автоматических системах	9
§ 1.2. Классификация автоматических систем по характеру внутренних динамических процессов	14
§ 1.3. Примеры непрерывных автоматических систем	18
§ 1.4. Примеры дискретных и релейных автоматических систем	22
Глава 2. Программы и алгоритмы управления	29
§ 2.1. Программы управления	29
§ 2.2. Линейные алгоритмы управления	32
§ 2.3. Нелинейные алгоритмы управления	35
РАЗДЕЛ II. НЕПРЕРЫВНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	40
Глава 3. Линеаризация дифференциальных уравнений систем автоматического управления	40
§ 3.1. Линеаризация уравнений	40
§ 3.2. О записи линеаризованных уравнений звеньев	44
Глава 4. Динамические звенья и их характеристики	48
§ 4.1. Общие понятия	48
§ 4.2. Временные характеристики	50
§ 4.3. Частотная передаточная функция и частотные характеристики	53
§ 4.4. Логарифмические частотные характеристики	57
§ 4.5. Позиционные звенья	60
§ 4.6. Интегрирующие звенья	73
§ 4.7. Дифференцирующие звенья	78
§ 4.8. Неустойчивые и минимально-фазовые звенья	82
Глава 5. Составление исходных дифференциальных уравнений систем автоматического управления	85
§ 5.1. Общий метод составления исходных уравнений	85
§ 5.2. Передаточные функции систем автоматического управления	88
§ 5.3. Использование структурных схем	91
§ 5.4. Уравнения следящей системы	95
§ 5.5. Уравнения состояния	103
§ 5.6. Управляемость и наблюдаемость	107
§ 5.7. Многомерные системы управления	110

Глава 6. Критерии устойчивости	115
§ 6.1. Общие сведения об устойчивости	115
§ 6.2. Критерий устойчивости Гурвица	123
§ 6.3. Построение областей устойчивости. D -разбиение	128
§ 6.4. Критерий устойчивости Найквиста	131
§ 6.5. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам	143
§ 6.6. Устойчивость систем с запаздыванием	148
§ 6.7. Устойчивость систем с распределенными параметрами	154
§ 6.8. Устойчивость двумерных систем с антисимметричными связями	162
Глава 7. Построение кривой переходного процесса в системах автоматического управления	164
§ 7.1. Общие соображения	164
§ 7.2. Непосредственное решение исходного дифференциального уравнения	168
§ 7.3. Сведение неоднородного уравнения к однородному	169
§ 7.4. Использование преобразований Фурье, Лапласа и Карсона-Хевисайда	173
§ 7.5. Использование вычислительных машин	181
Глава 8. Оценка качества управления	190
§ 8.1. Общие соображения	190
§ 8.2. Точность в типовых режимах	192
§ 8.3. Коэффициенты ошибок	198
§ 8.4. Определение запаса устойчивости и быстродействия по переходной характеристике	200
§ 8.5. Корневые методы	202
§ 8.6. Диаграмма Вышнеградского	208
§ 8.7. Интегральные оценки	212
§ 8.8. Частотные критерии качества	223
§ 8.9. Чувствительность систем управления	231
Глава 9. Повышение точности систем автоматического управления	238
§ 9.1. Общие методы	238
§ 9.2. Теория инвариантности и комбинированное управление	247
§ 9.3. Несединичные обратные связи	255
Глава 10. Улучшение качества процесса управления	258
§ 10.1. О корректирующих средствах	258
§ 10.2. Последовательные корректирующие звенья	262
§ 10.3. Параллельные корректирующие звенья	267
§ 10.4. Обратные связи	269
§ 10.5. Методы повышения запаса устойчивости	279
§ 10.6. Примеры	286
Глава 11. Случайные процессы в системах автоматического управления	291
§ 11.1. Вводные замечания	291
§ 11.2. Случайные процессы	306
§ 11.3. Стационарные случайные процессы	309
§ 11.4. Корреляционная функция	311
§ 11.5. Спектральная плотность стационарных процессов	316
§ 11.6. Канонические разложения случайных функций	328

§ 11.7.	Прохождение случайного сигнала через линейную систему	330
§ 11.8.	Расчет установившихся ошибок в автоматических системах	335
§ 11.9.	Расчеты по минимуму среднеквадратичной ошибки	338
Глава 12.	Методы синтеза систем автоматического управления	344
§ 12.1.	Общие соображения	344
§ 12.2.	Корневой метод	345
§ 12.3.	Метод корневых годографов	350
§ 12.4.	Метод стандартных переходных характеристик	351
§ 12.5.	Метод логарифмических амплитудных характеристик	355
§ 12.6.	Синтез систем автоматического управления на основе частотных критериев качества	361
Глава 13.	Системы с переменными параметрами	382
§ 13.1.	Основные понятия	382
§ 13.2.	Нахождение функции веса и построение переходных процессов	387
§ 13.3.	Передаточные функции	395
§ 13.4.	Устойчивость и качество управления	399
§ 13.5.	О синтезе систем с переменными параметрами	402
РАЗДЕЛ III.	ЛИНЕЙНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ	406
Глава 14.	Импульсные системы	406
§ 14.1.	Общие сведения	406
§ 14.2.	Разностные уравнения	408
§ 14.3.	Использование z-преобразования	412
§ 14.4.	Передаточные функции	422
§ 14.5.	Уравнения состояния	427
§ 14.6.	Устойчивость импульсных систем	430
§ 14.7.	Оценка качества импульсных систем	436
§ 14.8.	Случайные процессы в импульсных системах	441
Глава 15.	Цифровые системы	445
§ 15.1.	Общие сведения	445
§ 15.2.	Дискретные алгоритмы управления и дискретная коррекция	449
§ 15.3.	О синтезе систем управления с ЦВМ	460
РАЗДЕЛ IV.	НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	474
Глава 16.	Составление уравнений нелинейных систем автоматического управления	474
§ 16.1.	Общие понятия	474
§ 16.2.	Уравнения систем с нелинейностью релейного типа	491
§ 16.3.	Уравнения систем с нелинейностью в виде сухого трения и зазора	494
§ 16.4.	Уравнения систем с нелинейностями других видов	497
Глава 17.	Точные методы исследования устойчивости и автоколебаний	501
§ 17.1.	Фазовые траектории и метод точечных преобразований	501
§ 17.2.	Теоремы прямого метода Ляпунова и их применение	513
§ 17.3.	Частотный метод В. М. Попова	527
§ 17.4.	Исследование систем с переменной структурой	531
Глава 18.	Приближенные методы исследования устойчивости и автоколебаний	533
§ 18.1.	Гармоническая линеаризация нелинейностей	533

§ 18.2.	Алгебраические способы определения автоколебаний и устойчивости в нелинейных системах первого класса	543
§ 18.3.	Примеры исследования нелинейных систем первого класса	554
§ 18.4.	Нелинейные системы второго класса	571
§ 18.5.	Вычисление высших гармоник и уточнение первой гармоники автоколебаний	584
§ 18.6.	Частотный метод определения автоколебаний	596
Глава 19.	Медленно меняющиеся процессы в автоколебательных системах ...	607
§ 19.1.	Статические и скоростные ошибки автоколебательных систем	607
§ 19.2.	Прохождение медленно меняющихся сигналов в автоколебательных системах	618
§ 19.3.	Гармоническая линеаризация нелинейностей при несимметричных колебаниях	624
Глава 20.	Оценка качества нелинейных процессов управления	631
§ 20.1.	Приближенное исследование колебательных переходных процессов	631
§ 20.2.	Примеры исследования колебательных переходных процессов	639
Глава 21.	Вынужденные колебания нелинейных систем	646
§ 21.1.	Симметричные одночастотные вынужденные колебания	646
§ 21.2.	Несимметричные вынужденные колебания с медленно меняющейся составляющей	653
§ 21.3.	Зависимость устойчивости и качества нелинейных систем от внешних вибраций	660
Глава 22.	Случайные процессы в нелинейных системах	667
§ 22.1.	Статистическая линеаризация нелинейностей	667
§ 22.2.	Простейшие случайные процессы в нелинейных системах	673
§ 22.3.	Пример исследования влияния случайных помех на динамику нелинейной системы	678
Глава 23.	Нелинейные дискретные системы	683
§ 23.1.	Общие сведения	683
§ 23.2.	Системы с амплитудно-импульсной модуляцией	685
§ 23.3.	Системы с широтно-импульсной модуляцией	695
РАЗДЕЛ V. ОПТИМАЛЬНЫЕ И АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ		
	АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	703
Глава 24.	Оптимальные системы	703
§ 24.1.	Общие положения	703
§ 24.2.	Использование классических вариационных методов	707
§ 24.3.	Динамическое программирование	710
§ 24.4.	Аналитическое конструирование регуляторов	713
§ 24.5.	Использование принципа максимума	715
Глава 25.	Адаптивные системы	723
§ 25.1.	Системы экстремального управления	723
§ 25.2.	Самоадаптивные системы	733
Приложение	741	
Литература	744	

В. А. Бесекерский, Е. П. Попов

ТЕОРИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Санкт-Петербург
2003

ИЗДАТЕЛЬСТВО

УДК 62-53.001 (075.8)
ББК 32.965 я73
Б 53

Бесекерский В.А., Попов Е. П.
Б53 Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. --
Изд. 4-е, перераб. и доп. — СПб, Изд-во «Профессия», 2003. -- 752 с. -- (Серия: Спе-
циалист)

ISBN 5-93913-035-6

Впервые вышедшая в свет в 1966 г. и выдержавшая два переиздания (второе -- 1972 г. и тре-
тье -- 1975 г.) книга В. А. Бесекерского и Е. П. Попова «Теория систем автоматического регулиро-
вания» давно стала библиографической редкостью. Несмотря на то что за прошедшее время было
издано большое количество учебников и учебных пособий, монографий и статей в научных журна-
лах, эта книга, написанная известными учеными и талантливыми педагогами, до сих пор пользуется
большим спросом среди студентов, инженеров и научных работников.

Большинство из изложенных в книге методов в настоящее время принято относить к класси-
ческим. В новое издание внесены небольшие изменения и дополнения, цель которых -- прибли-
зить изложение к современным представлениям теории автоматического управления, учитываю-
щим развитие науки и техники. В духе времени изменено и название книги.

Даны общие сведения о системах автоматического управления, их классификация, понятия о
программах и алгоритмах управления, изложение теории непрерывных и дискретных линейных
систем автоматического управления. Представлены нелинейные системы автоматического управ-
ления, точные и приближенные методы исследования устойчивости и автоколебаний, методы ана-
лиза качества нелинейных систем в различных режимах и при различных внешних воздействиях.
Структура и содержание пятого раздела существенно изменены по сравнению с предыдущим из-
данием. Глава, посвященная системам управления с ЦВМ, перенесена в третий раздел, а ее место
заняла глава «Оптимальные системы», сформированная из параграфов «Классические вариаци-
онные методы», «Динамическое программирование» и «Аналитическое конструирование».

Книга может служить хорошим пособием для студентов и аспирантов технических универси-
тетов и ценным руководством для преподавателей вузов, научных работников и инженеров, рабо-
тающих в области теории автоматического управления.

ISBN 5-93913-035-6

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена
в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

УДК 62-53.001 (075.8)
ББК 32.965 я73

© Бесекерский В.А., Попов Е. П., 2003