

В. Я. Ротач

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Допущено Министерством
высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Автоматизация теплоэнергетических
процессов»



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1985

785
618

ББК 32.815
Р 79
УДК 621.311.22 : 681.5(075.8)

Рецензенты: 1. Рижский ордена Трудового Красного
Знамени политехнический институт
2. Профессор В. С. Кочо

26
3965
1982-85

СЕРВИС ЦЕНТР
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
МОСКВА

Сверено
1986 г.

Ротач В. Я.

Р 79 Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат. 1985. — 296 с., ил.

В пер.: 1р. 20 к. 7300 экз.

Рассмотрены основы теории автоматического управления с позиций ее применения для построения систем управления технологическими процессами. Основное внимание уделено специфике построения таких систем, обусловленной рядом особенностей объектов управления: большой размерностью и инерционностью, распределенностью влияния возмущения в передаче управляющих воздействий и т. д. Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов».

Р 2404000000—471 260—85
051(01)—85

ББК 32.815

© Энергоатомиздат, 1985

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава первая. Автоматическое управление и регулирование	8
1.1. Основные принципы построения систем управления	8
1.2. Декомпозиция задач и структур систем управления. Качество функционирования объектов и систем управления	11
1.3. Математическое и техническое обеспечение систем автоматического управления	16
1.4. Становление и развитие теории и техники автоматического управления тепловыделительными процессами	18
1.5. Примеры систем управления мощностью энергоблоков ТЭС	27
1.6. Примеры систем автоматического регулирования барабанных котлов	30
1.7. Особенности систем регулирования проточных котлов	34
1.8. Особенности систем управления энергоблоками АЭС	36
Глава вторая. Дифференциальные уравнения и динамические характеристики линейных систем	38
2.1. Дифференциальные уравнения динамических систем и их линеаризация	38
2.2. Применение преобразования Лапласа для решения линейных дифференциальных уравнений	43
2.3. Матричная форма записи уравнений динамических систем	48
2.4. Переходные динамические характеристики линейных систем	52
2.5. Спектральное представление сигналов в динамических системах	56
2.6. Частотные динамические характеристики линейных систем	59
Глава третья. Структурные схемы систем управления	63
3.1. Алгоритмические структуры систем и их элементарные звенья	63
3.2. Инерционное звено второго порядка	68
3.3. Типовые связи между звеньями в структурных схемах систем	71
3.4. Представление структурных схем систем сигнальными графами	79
3.5. Звенья с распределенными параметрами в структурах моделей тепловыделительных объектов управления	79
3.6. Типовые линейные динамические модели тепловыделительных объектов управления	83
3.7. Динамические характеристики типовых регуляторов	87
Глава четвертая. Устойчивость, запас устойчивости и чувствительность линейных динамических систем	90
4.1. Критерии устойчивости, основанные на анализе коэффициентов характеристического уравнения систем	90
4.2. Частотный критерий устойчивости замкнутых контуров	94
4.3. Оценка запаса устойчивости линейных систем по распределению корней характеристического уравнения	98
4.4. Оценка запаса устойчивости замкнутых контуров по частотному показателю колебательности	102
4.5. Чувствительность динамических систем	107
Глава пятая. Расчет одноконтурных систем управления по минимальным критериям оптимальности	110
5.1. Минимальные критерии качества функционирования систем управления	110

5.2. Интегральные критерии качества работы систем управления	113
5.3. Расчет оптимальных параметров регулятора при ограничении на корневой показатель колебательности	115
5.4. Расчет оптимальных параметров регулятора при ограничении на частотный показатель колебательности	119
5.5. Особенности расчета оптимальных параметров ПИД-регулятора	122
5.6. Приближенный расчет оптимальных параметров ПИ-регуляторов по переходной характеристике объектов	129
5.7. Синтез оптимальных алгоритмов функционирования командных блоков управления по минимальным критериям	131
Глава шестая. Расчет одноконтурных систем управления по критерию минимума среднеквадратической ошибки	135
6.1. Основные сведения о случайных процессах	135
6.2. Спектральные характеристики стационарных случайных процессов	140
6.3. Расчет оптимальных параметров типовых регуляторов по критерию минимума среднеквадратического отклонения регулируемой величины	146
6.4. Расчет оптимальных параметров типовых регуляторов по критерию минимума среднеквадратического отклонения регулируемой величины при низкочастотных возмущениях	151
6.5. Синтез оптимальных алгоритмов регулирования и управления по критерию минимума среднеквадратической ошибки	153
6.6. Связь типовых регуляторов с оптимальными	158
Глава седьмая. Системы регулирования с добавочными информационными каналами и многомерные системы	162
7.1. Многоконтурные системы регулирования	162
7.2. Расчет оптимальных параметров многоконтурных систем регулирования	167
7.3. Синтез систем с компенсацией возмущений	174
7.4. Многомерные системы регулирования	178
7.5. Матричные передаточные функции многомерных систем управления	181
7.6. Расчет оптимальных параметров многомерных систем регулирования	185
7.7. Автономные многомерные системы регулирования	186
Глава восьмая. Дискретные сигналы и системы	188
8.1. Разностные уравнения дискретных систем	188
8.2. Способы описания дельта-импульсных последовательностей	194
8.3. Спектры модулированных дельта-импульсных последовательностей	198
8.4. Передаточные функции и динамические характеристики дискретных систем	202
8.5. Дискретные системы с непрерывной частью	205
8.6. Непрерывные системы, находящиеся под воздействием дельта-импульсных последовательностей	209
Глава девятая. Синтез алгоритмов функционирования и расчет параметров цифровых регуляторов	211
9.1. Анализ процессов регулирования в системах с цифровыми регуляторами	211
9.2. Устойчивость систем с цифровыми регуляторами	214
9.3. Запас устойчивости систем с цифровыми регуляторами	218
9.4. Критерии качества функционирования систем с цифровыми регуляторами	221
9.5. Синтез типовых алгоритмов функционирования цифровых регуляторов	226
9.6. Расчет оптимальных параметров настройки цифровых регуляторов	228
Глава десятая. Некоторые нелинейные задачи автоматического управления тепловыделительными объектами	232
10.1. Типовые нелинейные задачи автоматического управления	232
10.2. Устойчивость состояния равновесия нелинейных систем	235
10.3. Исследование устойчивости состояния равновесия прямым методом Ляпунова	239
10.4. Критерий устойчивости замкнутых нелинейных контуров	241

10.5. Анализ возможности возникновения автоколебаний в замкнутых нелинейных контурах методом гармонического баланса	246
10.6. Автоколебания в позиционных системах автоматического регулирования	250
10.7. Синтез оптимальных управляющих воздействий с учетом ограничений	254
10.8. Оптимизация качества функционирования объектов управления	257
Глава одиннадцатая. Идентификация и адаптация в системах автоматического управления теплоэнергетическими процессами	262
11.1. Адаптивные системы автоматического управления	262
11.2. Особенности идентификации объектов, находящихся в замкнутом контуре регулирования	266
11.3. Идентификация объектов управления с помощью сигнальных воздействий	269
11.4. Идентификация объектов управления с помощью параметрических и структурных воздействий	273
11.5. Итерационная процедура идентификации-оптимизации настройки	278
Приложение	282
Список литературы	289
Предметный указатель	290

ПРЕДИСЛОВИЕ

Теория автоматического управления является дисциплиной базовой подготовки инженеров по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». Задача этой дисциплины состоит в изучении основных принципов построения автоматических систем управления технологическими процессами в теплоэнергетике на базе современных математических методов и технических средств. Ее значимость в общей подготовке инженера обусловлена прежде всего тем, что автоматизация технологических процессов представляет собой важнейшее средство роста эффективности производства, интенсификации развития народного хозяйства как главного направления экономической стратегии государства.

Изучение теории автоматического управления имеет важное значение и в становлении научного мировоззрения инженера, раскрывая объективную необходимость применения диалектического метода при решении практических задач. В методологии этой дисциплины отчетливо проявляется известное положение классиков марксизма-ленинизма о том, что диалектический материализм есть мировоззрение, которое должно найти себе подтверждение не в некоей науке наук, а в конкретных науках.

Обусловлено это тем, что предметом изучения теории автоматического управления являются *системы автоматического управления*, состоящие из множества взаимодействующих элементов, принадлежащих объекту управления и комплексу управляющих устройств. Соответственно для их изучения должен применяться *системный подход*, требующий не просто учета всех существенных факторов, влияющих на состояние отдельных элементов, но, прежде всего, рассмотрения системы в ее *целостности*.

Это обстоятельство вносит серьезные трудности в разработку систем управления. Так, уже при постановке задачи на проектирование управляющего устройства возникает несколько неожиданная ситуация, когда оказывается невозможным обоснованно задать необходимые для решения исходные данные — математическую модель объекта управления. Оказывается, что выбор этой модели (если учитывать, что всякая модель отражает свойства реального объекта лишь приближенно) в значительной мере зависит от результата проектирования. Иначе говоря, для того, чтобы можно было начать проектирование, в принципе, необходимо располагать данными, которые будут получены только после его окончания.

Таким образом, проектирование системы управления — это внутренне противоречивая задача, и одна из главных целей теории автоматического управления состоит в раскрытии закономерного, объективного характера системных противоречий и разработке методов их преодоления. Практически это значит, что диалектический метод становится рабочим инструментом инженера, проектирующего системы управления. Неумение пользоваться этим инструментом может привести (и, к сожалению, как свидетельствует опыт, нередко приводит) к серьезным ошибкам, за которыми следуют реальные экономические потери.