

В. Х. Квон, А. В. Ким, В. М. Кормышев,
В. Р. Лименов, С. И. Солодушкин

АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ
И СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ
В СИСТЕМАХ С ПОСЛЕДЕЙСТВИЕМ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

В.Х. Квон, А.В. Ким, В.М. Кормышев, В.Г. Пименов, С.И. Солодушкин

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ
РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ С ПОСЛЕДЕЙСТВИЕМ**

Научный редактор доц., канд. физ.-мат. наук А.Б. Ложников

Екатеринбург
УрФУ
2010

УДК 517.977
ББК 32.817в
А64

Рецензенты:

кафедра высшей математики Уральской государственной
архитектурно-художественной академии (зав. кафедрой, проф.,
д-р физ.-мат. наук С.С. Титов);

Авторы: В.Х. Квон, А.В. Ким, В.М. Кормышев, В.Г. Пименов, С.И. Солодушкин

А64 Аналитическое конструирование и синтез регуляторов в системах с последствием: монография / В.Х. Квон, А.В. Ким, В.М. Кормышев, В.Г. Пименов, С.И. Солодушкин. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 170 с. ил.

ISBN 978-5-321-01801-9

В книге представлены результаты совместных исследований уральских ученых и научных работников и инженеров Сеульского национального университета (Республика Корея). Книга является первым монографическим изданием, посвященным вопросам анализа и синтеза управлений в системах с последствием на основе идеологии аналитического конструирования регуляторов. Книга содержит много авторских результатов, опубликованных пока только в журнальных статьях и диссертациях. Отличительной особенностью представленного в монографии материала является конструктивность: практически все основные результаты доведены до алгоритмов и реализованы в виде программных продуктов.

ISBN 978-5-321-01801-9

УДК 517.977

ББК 32.817в

© УрФУ, 2010

© В.Х. Квон, А.В. Ким,
В.М. Кормышев,
В.Г. Пименов,
С.И. Солодушкин

Оглавление

Предисловие	3
Основные обозначения	10
Используемые сокращения	11
Часть 1. Стабилизация систем с последствием в фазовых переменных	12
1. Линейные системы с последствием и условная запись си- стем	12
1.1. Условная запись системы	12
1.2. Фазовое пространство	13
1.3. Представление решений через фундаментальную матрицу	14
2. Устойчивость линейных систем	14
2.1. Основные определения	14
2.2. Асимптотическая устойчивость в терминах собственных чисел	15
2.3. Критерий устойчивости линейных систем с последствием	16
2.4. Об устойчивости систем с последствием относительно воз- мущений из H , $C[-\tau, 0]$ и $Lip^k[-\tau, 0]$	19
3. Задача стабилизации	22
3.1. Допустимые управления	22
3.2. Постановка задачи стабилизации	23
3.3. Задача оптимальной стабилизации и квадратичный функционал качества	24
3.4. Вывод обобщенных уравнений Риккати	26
3.5. Достаточные условия (оптимальной) стабилизации	33
4. Квадратичные функционалы и их свойства	35
4.1. Структура квадратичных функционалов	35
4.2. Элементарные функционалы и их свойства	36
4.3. Полная производная в силу системы	37
4.4. Знакоопределенность функционалов	39
4.5. Инвариантная производная функционалов	42
5. Специальные решения обобщенных уравнений Риккати	46
5.1. Вариант 1 выбора весовых матриц	46
5.2. Вариант 2 выбора весовых матриц	49
5.3. Вариант 3 выбора весовых матриц	50
5.4. Анализ функционала качества (к варианту 3)	51

6. Решение матричных уравнений	53
6.1. Алгебраическое уравнение Риккати	53
6.2. Экспоненциальные матричные уравнения	53
7. Явные решения обобщенных уравнений Риккати	54
7.1. Вариант 4 выбора весовых матриц	55
7.2. Вариант 5 выбора весовых матриц	59
7.3. Вариант 6 выбора весовых матриц	63
8. Построение и анализ регулятора	66
8.1. Варианты 1 и 2 выбора весовых матриц	67
8.2. Вариант 3 выбора весовых матриц	68
9. Примеры	71
9.1. Пример 1	71
9.2. Пример 2	72
9.3. Пример 3	76
9.4. Пример 4: модель аэродинамической трубы	78
9.5. Пример 5: устойчивость сгорания в жидкостном ракетном двигателе	81
9.6. Пример 6	85
9.7. Пример 7	87
9.8. Пример 8	89

Часть 2. Стабилизация систем с последствием в управлении **92**

10. Постановка задачи	92
10.1. Системы с запаздыванием по управлению	92
10.2. Синтез управления с обратной связью	93
10.3. Стабилизирующее управление с обратной связью	95
10.4. Обобщенный квадратичный критерий качества	96
11. Обобщенные уравнения Риккати для систем с последствием в управлении	97
11.1. Вывод обобщенных уравнений Риккати	98
11.2. Явные решения ОУР. Вариант 1	109
11.3. Явные решения ОУР. Вариант 2	112
11.4. Явные решения ОУР. Вариант 3 – специальное (стационарное) решение	115
12. Построение и анализ регулятора для систем с последствием в управлении	117
12.1. Явный вид управления с обратной связью	117
12.2. Достаточные условия стабилизируемости	119

12.3. Алгоритм проверки устойчивости линейных систем с последствием	120
12.4. Решение матричных уравнений	122
13. Примеры	123
13.1. Пример 1	123
13.2. Пример 2	125
13.3. Пример 3	127
13.4. Пример 4 (Управление регулятором гироскопа с запаздыванием)	129
14. Пакет прикладных программ	
Time-delay System Toolbox	132
14.1. Назначение и структура пакета прикладных программ	132
14.2. Алгоритмы	132
14.3. Структура Time-delay System Toolbox	133
 Часть 3. Добавление.	
Стабилизация систем с последствием в фазовых переменных и управлении	134
15. Постановка задачи	134
15.1. Обобщенный квадратичный функционал качества	140
16. Обобщенные уравнения Риккати	141
17. Явные решения обобщенных уравнений Риккати	147
18. Достаточные условия стабилизируемости	151
19. Пример 1	152
20. Пример 2	154
Библиографический список	156