

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	8
Предисловие	10
Список основных обозначений	12
Список сокращений	13
Введение в теорию автоматического управления	14

РАЗДЕЛ I

АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ГЛАВА 1

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ

1.1. Однородные стационарные линейные системы	32
1.1.1. Уравнение в форме вход–выход (32). 1.1.2. Система уравнений в форме Коши (34).	
1.2. Однородные нестационарные линейные системы	43
1.3. Задача Коши для однородных нелинейных систем	46
1.3.1. Абстрактная математическая модель систем с сосредоточенными параметрами (46). 1.3.2. Автоколебания нелинейных систем (49). 1.3.3. Структурный признак существования предельного цикла в виде гиперсферы [28] (51).	
1.4. Интегрирование уравнений в частных производных. Абстрактная математическая модель систем с сосредоточенными и с распределенными параметрами	52
1.5. Неоднородные стационарные линейные системы	54
1.5.1. Тожество Коши (54). 1.5.2. Метод передаточных функций (62).	

ГЛАВА 2

ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Классификация задач синтеза	71
2.2. Цели автоматического управления, преследуемые в задаче стабилизации	72
2.3. Распространение показателей точности и качества переходных процессов на системы, отличные от стационарных линейных	85
2.4. Задачи синтеза, порожденные проблемой многосвязности (проблема неединственности по Адамару)	87

ГЛАВА 3

**АНАЛИЗ УПРАВЛЯЕМОСТИ
(ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ ПО АДАМАРУ)**

3.1. Содержательное определение управляемости	93
3.2. Историческая справка	94
3.3. Анализ управляемости абстрактной математической модели	96
3.4. Анализ управляемости в случае производных от управлений в форме вход–выход	99
3.4.1. Переход к неканонической форме Фробениуса (100). 3.4.2. Переход к неканонической форме Крылова–Люенбергера (102).	
3.5. Анализ управляемости: декомпозиция на полностью управляемую и полностью неуправляемую подсистемы	105
3.5.1. Постановка задачи (105). 3.5.2. Формализация процедуры направленного перебора решения задачи (106). 3.5.3. Алгоритм декомпозиции (109).	

ГЛАВА 4

**АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ (УСТОЙЧИВОСТЬ К МАЛЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ ИСХОДНЫХ
ДАННЫХ ПО АДАМАРУ)**

4.1. Определение структурной устойчивости математической модели	117
4.2. Классификация структурных возмущений	119
4.3. Анализ структурных возмущений стационарных линейных систем	121
4.4. Анализ правил преобразования структурных схем	126

ГЛАВА 5

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ

5.1. Историческая справка	131
5.2. Первый метод Ляпунова	132
5.2.1. Общие положения (132). 5.2.2. Приводимость по Ляпунову (134). 5.2.3. П-приводимость (145)	
5.3. Второй метод Ляпунова	150
5.4. Матричное тождество Ляпунова	154
5.5. Анализ орбитальной устойчивости	157
5.5.1. Постановка задачи и вспомогательные сведения (157). 5.5.2. Обобщение основных теорем второго метода Ляпунова на случай исследования орбитальной устойчивости предельных циклов (159). 5.5.3. Метод построения обобщенных функций Ляпунова с использованием математического аппарата кривизн дифференциальной геометрии (162).	
5.6. Анализ устойчивости при постоянно действующих возмущениях	168
5.6.1. Историческая справка (168). 5.6.2. Стабилизируемость в условиях внешних воздействий, порожденных неуправляемой подсистемой (171).	

ГЛАВА 6

**АНАЛИЗ ГРУБОСТИ СВОЙСТВА АСИМПТОТИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ**

6.1. Историческая справка	183
6.2. Постановка задачи синтеза гурвицева интервального многочлена	187

6.3. Альтернативные формы записи формул Виета	192
6.4. Формализм «размывания» корней в случае четной степени характеристического многочлена	194
6.5. Формализм «размывания» корней в случае нечетной степени характеристического многочлена	195
6.6. Анализ грубости свойства асимптотической устойчивости в пространстве состояний	198
Послесловие к анализу	206

**РАЗДЕЛ II
СИНТЕЗ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

ГЛАВА 7

**ЗАДАЧА СТАБИЛИЗАЦИИ: СИНТЕЗ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ
РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ**

7.1. Синтез обратной связи, исходя из желаемого распределения корней характеристического уравнения замкнутой системы	209
7.1.1. Задача модального управления: случай скалярного управления (209).	
7.1.2. Задача модального управления: случай векторного управления (212).	
7.1.3. Задача модального управления применительно к абстрактной математической модели объекта управления: синтез приводимых систем (217). 7.1.4. Задача модального управления на основе принципа нелинейного включения в матричное тождество Ляпунова (221).	
7.2. Синтез обратной связи по интегральным квадратичным критериям качества переходных процессов замкнутой системы	225
7.2.1. Историческая справка (225). 7.2.2. Методы аналитического конструирования оптимальных регуляторов (226). 7.2.3. Алгоритм Бьюси–Джозефа решения нелинейного матричного алгебраического уравнения типа Риккати в задаче АКОР Летова, исходя из неявно заданных корней характеристического уравнения замкнутой системы [40] (229). 7.2.4. Метод билинейных преобразований конструирования решений матричного уравнения Ляпунова в задаче АКОР А. А. Красовского (233).	
7.3. Анализ грубости свойства асимптотической устойчивости по Ляпунову аналитически сконструированных систем	237
7.4. Синтез обратной связи по выходу	240

ГЛАВА 8

**ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЙ (ЗАДАЧА
НАБЛЮДЕНИЯ)**

8.1. Синтез наблюдателей полного порядка	252
8.2. Восстановление линейных скоростей абсолютно твердого тела по результатам измерения угловых скоростей в условиях зависимости моментов сил от линейных скоростей	254
8.3. Восстановление линейных скоростей одномоторного самолета	257

ГЛАВА 9

**ЗАДАЧА СТАБИЛИЗАЦИИ: СИНТЕЗ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ
СИНГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ**

9.1. Историческая справка	264
9.2. Идея прямого метода решения задачи АССР	264
9.3. Анализ корректности постановки задачи АССР	265
9.4. Синтез сингулярных регуляторов прямым методом	267
9.5. Метод решения задачи АССР приведением к форме Крылова–Люенбергера	278
9.6. Новое решение задачи автономного регулирования Вознесенского	280

ГЛАВА 10

ЗАДАЧА ФИНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗ ОГРАНИЧЕНИЙ

10.1. Историческая справка	284
10.2. Аналитическое решение задачи финитного управления в непрерывном случае	284
10.2.1. Перевод в начало координат (284). 10.2.2. Перевод в заданное конечное состояние (287). 10.2.3. Финитное управление креном управляемого снаряда (288).	
10.3. Аналитическое решение задачи финитного управления в дискретном случае	294
10.3.1. Алгоритм программного управления (295). 10.3.2. Алгоритм управления по принципу обратной связи (296). 10.3.3. Дискретное финитное управление креном управляемого снаряда (297).	

ГЛАВА 11

**ФИНИТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА
УПРАВЛЕНИЯ**

11.1. Принцип максимума Понтрягина	302
11.2. Решение задачи оптимального быстродействия на основе принципа максимума Понтрягина	304
11.3. Решение задачи на оптимум расхода топлива на основе принципа максимума Понтрягина	305
11.4. Решение задачи управления конечным состоянием на основе принципа максимума Понтрягина	307
11.5. Решение задачи управления по минимуму расхода энергии на основе принципа максимума Понтрягина	308

ГЛАВА 12

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

12.1. Общие замечания	313
12.2. Метод функций Ляпунова решения задач адаптивного управления беспойсковыми самонастраивающимися системами без эталонной модели	313
12.3. Метод функций Ляпунова решения задач адаптивного управления беспойсковыми СНС с эталонной моделью	316

12.4. Методы решения задач адаптивного управления поисковыми самонастраивающимися системами	317
12.4.1. Метод измерения производной (317). 12.4.2. Метод запоминания экстремума (318). 12.4.3. Метод периодического поискового сигнала (319).	
Послесловие к синтезу	321

**РАЗДЕЛ III
ПРИЛОЖЕНИЯ****ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ****ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОСНОВЫ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ АНАЛИТИЧЕСКИХ
ВЫЧИСЛЕНИЙ АНАЛИТИК-С**

П. 2.1. История создания и основные возможности системы	367
П. 2.1.1. Установка и запуск системы (368). П. 2.1.2. Основы пользовательского интерфейса (369). П. 2.1.3. Редактирование документа (369). П. 2.1.4. Запуск программы на языке АНАЛИТИК-С (371). П. 2.1.5. Работа со встроенной системой помощи (371).	
П. 2.2. Описание входного языка системы	372
П. 2.2.1. Переменные (372). П. 2.2.2. Операции, выражения (374). П. 2.2.3. Функции (374). П. 2.2.4. Операторы (374).	
П. 2.3. Работа с графикой. Графические команды и функции	382
Список литературы	383
Предметный указатель	386