

## Оглавление

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Математическое моделирование управляемых систем</b> ....	<b>5</b>
1. Понятие об управляемых системах .....	5
2. Принцип управления. Основная задача теории управления .....	12
2.1. Принципы управления (12). 2.2. Элементы систем автоматического регулирования и их характеристики (15). 2.3. Основная задача теории управления (16).	
3. Математическое описание управляемых систем. Основные требования к математическим моделям .....	16
3.1. Математическая модель системы (16). 3.2. Модель системы с распределенными параметрами (21). 3.3. О допустимых управлениях и начальном состоянии систем с распределенными параметрами (26). 3.4. Применение метода Фурье для получения обобщенного решения (32).	
4. Математические модели линейных непрерывных систем с сосредоточенными параметрами .....	34
4.1. Общая дифференциальная форма уравнений движения управляемого объекта (34). 4.2. Операторная форма уравнений движения для стационарного процесса (36). 4.3. Передаточная функция. Структурная схема системы (37). 4.4. Характеристическое уравнение замкнутой системы (39). 4.5. Переходные функции управляемой системы (40).	
5. Основные характеристики переходных процессов в управляемых системах .....	44
5.1. Частотные характеристики (45). 5.2. Логарифмическая частотная характеристика (46).	
6. Типовые элементы систем автоматического регулирования и их характеристики .....	47
6.1. Стандартные формы уравнений звеньев систем управления (47). 6.2. Типовые звенья систем управления (47). 6.3. Заключительные замечания (49).	
7. Качество систем автоматического регулирования .....	50
7.1. Характеристики качества систем автоматического регулирования (50). 7.2. Ошибки систем (51). 7.3. Инвариантные системы (54).	
8. Применение операторных уравнений .....	56
8.1. Краевые задачи и операторы (56). 8.2. Операторное уравнение Риккати в математической физике (60).	
9. Применение общей теории систем .....	62
9.1. Основные понятия и определения (62). 9.2. Абстрактные линейные системы (65). 9.3. Общие временные системы (67). 9.4. Общие динамические системы (69).	

<b>Глава 2. Основы теории устойчивости</b> .....	71
1. Линеаризация нелинейных систем .....	71
1.1. Вспомогательные факты из теории обыкновенных дифференциальных уравнений (71). 1.2. Свойства стационарной системы (73). 1.3. Уравнения первого приближения (79).	
2. Краткая характеристика нелинейных систем автоматического управления .....	81
2.1. Нелинейные элементы систем управления (82). 2.2. Общая характеристика систем автоматического управления (84).	
3. Устойчивость по Ляпунову. Основные определения .....	86
4. Устойчивость линейных систем .....	90
4.1. Общие теоремы об устойчивости линейных нестационарных систем (91). 4.2. Устойчивость линейных стационарных систем (92). 4.3. Устойчивость линейных нестационарных систем (96).	
5. Устойчивость специальных линейных систем .....	99
5.1. Линейные системы с периодическими коэффициентами (99). 5.2. Линейные системы с почти постоянной матрицей (104).	
6. Критерии устойчивости .....	107
6.1. Критерий Гурвица. Область устойчивости (107). 6.2. Критерий Михайлова (109).	
7. Устойчивость нелинейных систем .....	112
7.1. Функция Ляпунова (113). 7.2. Теоремы Ляпунова (115). 7.3. Обобщения теорем Ляпунова (119).	
8. Устойчивость по первому приближению .....	124
8.1. Теоремы Ляпунова (125). 8.2. Анализ общих нестационарных систем (128).	
<b>Глава 3. Основы теории устойчивости замкнутых систем</b> .....	131
1. Устойчивость замкнутых систем управления .....	131
1.1. Характеристический определитель замкнутой системы (131). 1.2. Критерий Найквиста. Случай асимптотически устойчивых звеньев системы (132). 1.3. Критерий Найквиста в случае нейтральных звеньев (138). 1.4. Случай замкнутой системы с неустойчивыми звеньями (143).	
2. Устойчивость специальных нелинейных систем .....	144
2.1. Уравнения системы и их нормальная форма (145). 2.2. Задача Лурье (149).	
3. Применение функций Ляпунова .....	152
3.1. Каноническая форма уравнения (153). 3.2. Теорема Лурье (156). 3.3. Анализ абсолютной устойчивости (161).	
<b>Глава 4. Периодические решения нелинейных систем дифференциальных уравнений</b> .....	165
1. Периодические решения автономных нелинейных систем .....	165
1.1. Периодические решения квазилинейных автономных систем (166). 1.2. Метод Крылова (170).	
2. Метод гармонической линеаризации .....	173
3. Вынужденные колебания нелинейных систем .....	177
3.1. Метод Пуанкаре (177). 3.2. Особый случай (180). 3.3. Заключительные замечания (184).	
<b>Глава 5. Управляемость, наблюдаемость, идентифицируемость</b> .....	185
1. Управляемость линейных нестационарных систем .....	185
1.1. Гильбертовы пространства. Теорема Леви (185). 1.2. Управляемость (187). 1.3. Область достижимости (192). 1.4. Критерий управляемости (194). 1.5. Решение задачи достижимости с помощью линейной обратной связи (196).	

2. Управляемость линейных стационарных систем . . . . .	201
2.1. Конечномерные непрерывные системы (201). 2.2. Общие выводы (203).	
3. Наблюдаемость и идентифицируемость линейных систем. Принцип двойственности . . . . .	204
3.1. Наблюдаемость нестационарных систем (204). 3.2. Наблюдаемость стационарных систем (206). 3.3. Принцип двойственности (209). 3.4. Идентифицируемость (209). 3.5. Наблюдатели полного порядка (212). 3.6. Наблюдатели пониженного порядка (213).	
4. Свойства вполне управляемых стационарных линейных систем . . . . .	215
4.1. Линейные операторы и матрицы (215). 4.2. Система со скалярным управлением (218). 4.3. Система с векторным управлением (220).	
5. Асимптотические идентификаторы . . . . .	225
5.1. Идентификатор со скалярным входным сигналом (225). 5.2. Асимптотический идентификатор со многими входами (228).	
6. Задача синтеза ограниченных управлений для автономных систем . . . . .	231
6.1. Общие теоремы (231). 6.2. Задача синтеза одномерного управления в линейной системе (234).	
7. Управление линейными системами при неполных измерениях . . . . .	240
8. Адаптивное управление . . . . .	243
8.1. Постановка задачи (244). 8.2. Экстремальные регуляторы (245). 8.3. Адаптивное управление с эталонной моделью (251).	
9. Управляемость линейных параболических систем . . . . .	254
9.1. Построение решения краевой задачи при фиксированном управлении (255). 9.2. Формулировка задачи об управляемости и ее предварительный анализ (257). 9.3. О вариационных методах решения уравнений первого порядка (261). 9.4. Существование решения уравнения (9.16) и условия управляемости (262).	
10. Краевые задачи и задачи управления упругими колебаниями. Классические решения . . . . .	265
10.1. Постановки краевых задач. Метод Даламбера (265). 10.2. Постановки задач граничного управления (271). 10.3. Управление колебаниями струны в условиях других краевых задач (272).	
11. Решение задач граничного управления колебаниями струны методом Даламбера . . . . .	272
11.1. Решение задачи управления в условиях первой краевой задачи (272). 11.2. Решение задачи управления в условиях третьей краевой задачи (274). 11.3. Решение задачи управления в условиях других краевых задач (278).	
12. Задачи управления колебаниями упругого стержня . . . . .	278
12.1. О свободных колебаниях стержня (278). 12.2. Постановка задач. Формулировка результатов (280). 12.3. Доказательства (283).	
<b>Глава 6. Простейшие задачи оптимального управления . . . . .</b>	<b>287</b>
1. Управление с минимальной энергией . . . . .	287
1.1. Задача об управлении с минимальной энергией (287). 1.2. Обобщение задачи об управлении минимальной энергией (292).	
2. Линейные системы с импульсным управлением . . . . .	301
3. Управление линейными системами с линейными критериями оптимальности . . . . .	305
3.1. Постановка задачи и общий ее анализ (307). 3.2. Случай линейно зависимых векторов $h_0, h_1, \dots, h_n$ (311).	
4. Задача об оптимальном быстром действии при ограниченной энергии управления . . . . .	315
4.1. Постановка основной задачи и ее анализ (315). 4.2. Оптимальное быстрое действие при импульсном управлении (321).	

5. Управление с минимальной силой . . . . .	323
5.1. Постановка задачи. Основная теорема (323). 5.2. Случай импульсного управления (330).	
6. Оптимальное быстродействие в линейных системах с ограниченной силой управления . . . . .	333
6.1. Постановка задачи. Необходимые условия оптимальности (334). 6.2. Выводы (336).	
7. Задача об аналитическом конструировании регуляторов . . . . .	336
7.1. Постановка задачи. Применение классического вариационного исчисления (336). 7.2. Решение задачи синтеза оптимального управления (339).	
8. Управление системами, зависящими от старта и финиша . . . . .	341
8.1. Общая характеристика систем (341). 8.2. Управляемость (343). 8.3. Идентифицируемость и наблюдаемость (345). 8.4. Оптимальное управление (346).	
<b>Глава 7. Основы общей теории оптимальных процессов . . . . .</b>	<b>349</b>
1. Динамическое программирование . . . . .	350
1.1. Принцип оптимальности. Уравнение Беллмана (350). 1.2. Анализ уравнения Беллмана (352).	
2. Управление системой с закрепленным концом траектории и свободным временем . . . . .	354
2.1. Вывод и анализ уравнения Беллмана (354). 2.2. Задача об оптимальном быстродействии (356). 2.3. Оптимальность управления (360). 2.4. О дифференцируемости функции Беллмана (362).	
3. Задача об аналитическом конструировании регуляторов . . . . .	364
3.1. Применение динамического программирования (365). 3.2. Оптимальные процессы в системах с постоянно действующими возмущениями (369). 3.3. Задача слежения (370). 3.4. Решение уравнения Риккати (374).	
4. Задача об оптимальной стабилизации . . . . .	376
4.1. Постановка задачи и анализ нелинейных систем (376). 4.2. Оптимальная стабилизация линейных систем (379). 4.3. Задача об оптимальной стабилизации для линейной стационарной системы (380). 4.4. Задача об оптимальной стабилизации с ограниченным управлением (382). 4.5. Решение уравнения с частными производными первого порядка (385).	
5. Примеры . . . . .	389
6. Динамическое программирование для систем с распределенными параметрами . . . . .	396
6.1. Дифференцирование функционалов (396). 6.2. Синтез оптимального управления. Уравнение Беллмана (398). 6.3. Построение оптимального управления (403). 6.4. Разрешимость краевой задачи (6.1)–(6.3) на оптимальном управлении (407). 6.5. Приближенное решение задачи синтеза оптимального управления (409). 6.6. Заключительные замечания (411).	
7. Принцип максимума . . . . .	411
7.1. Формулировка задачи и принцип максимума (411). 7.2. Обсуждение принципа максимума (414). 7.3. Принцип максимума в задаче об оптимальном быстродействии (415). 7.4. Принцип максимума в задаче терминального управления (417).	
8. Задачи с подвижными границами . . . . .	424
8.1. Гиперповерхности и гиперплоскости в евклидовом пространстве (424). 8.2. Постановка задачи. Условия оптимальности (425).	
9. Особые управления и скользящие режимы . . . . .	428
9.1. Постановка задачи. Основные определения (429). 9.2. Условия оптимальности (430). 9.3. Необходимые условия оптимальности особых управлений (432). 9.4. Скользящие режимы в задачах управления (436). 9.5. Оптимальность скользящих режимов (440).	
10. Принцип максимума для систем с распределенными параметрами . . . . .	442

10.1. Постановка задачи. Принцип максимума (443). 10.2. Доказательство принципа максимума (447). 10.3. Заключительные замечания (450).	
<b>Глава 8. Стохастические системы</b> .....	451
1. Преобразование случайных сигналов линейными системами .....	451
1.1. Основные статистические характеристики сигнала на выходе (451). 1.2. Взаимные корреляционные функции и спектральные плотности (456).	
2. Прогноз и фильтрация случайных процессов в линейных системах .....	457
2.1. Фильтрация и прогноз в стационарных системах (457). 2.2. Задача фильтрации нестационарного процесса (460). 2.3. Оптимальные фильтры Каллмана–Бьюси (462). 2.4. Определение матрицы $F(t)$ (464). 2.5. Построение матрицы $G(t)$ (468). 2.6. Устойчивость оптимального фильтра Каллмана–Бьюси (471). 2.7. Оптимальная фильтрация коррелированных шумов (473).	
3. Уравнения, определяющие оптимальные фильтры .....	474
3.1. Уравнение Винера–Хопфа (474). 3.2. Решение уравнения Винера–Хопфа методом неопределенных коэффициентов (477). 3.3. Уравнение Риккати (483).	
Список литературы .....	485
Глава 1 .....	485
Глава 2 .....	487
Глава 3 .....	488
Глава 4 .....	488
Глава 5 .....	489
Глава 6 .....	489
Глава 7 .....	489
Глава 8 .....	492
Предметный указатель .....	494