



**МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**



*Председатель*  
**Л.А. ПУЧКОВ**

*Зам. председателя*  
**Л.Х. ГИТИС**

*Члены редсовета*  
**И.В. ДЕМЕНТЬЕВ**

**А.П. ДМИТРИЕВ**

**Б.А. КАРТОЗИЯ**

**В.В. КУРЕХИН**

**М.В. КУРЛЕНЯ**

**В.И. ОСИПОВ**

**Э.М. СОКОЛОВ**

**К.Н. ТРУБЕЦКОЙ**

**В.В. ХРОНИН**

**В.А. ЧАНТУРИЯ**

**Е.И. ШЕМЯКИН**

*ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА*

*ректор МГГУ,  
чл.-корр. РАН*

*директор  
Издательства МГГУ*

*академик РАЕН*

*академик РАЕН*

*академик РАЕН*

*академик РАЕН*

*академик РАН*

*академик РАН*

*академик МАН ВШ*

*академик РАН*

*профессор*

*академик РАН*

*академик РАН*

**ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**Л.Д. Певзнер**

# **ТЕОРИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по горному образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Управление и информатика в технических системах»*

**МОСКВА**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**2 0 0 2**

УДК 622.658.012.011.56  
ББК 32.98  
П 23

**Рецензенты:**

- Проф. Г.Н. Лебедев (Московский государственный авиационный институт (Технический университет))
- Проф. А.Д. Яризов (Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина)

**Федеральная программа  
книгоиздания России**

**Певзнер Л.Д.**

П 23 Теория систем управления. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. — 472 с.

ISBN 5-7418-0076-9 (в пер.)

Представлен обобщенный, годовой курс лекций по теории автоматического управления. Содержит основные разделы современной теории управления динамическими системами. Приведены упражнения для практических занятий. В приложениях даны справочные сведения математического аппарата теории.

Для студентов специальностей "Управление и информатика в технических системах" и "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов". Может быть использовано при изучении дисциплины студентами и аспирантами смежных специальностей.

УДК 622.658.012.011.56  
ББК 32.98

ISBN 5-7418-0076-9

- © Л.Д. Певзнер, 2002
- © Издательство Московского государственного горного университета, 2002

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9	1.3. Основные задачи теории управления.....	19
1. Основные понятия теории управления.....	11	1.4. Принципы автоматического управления.....	20
1.1. Ключевые понятия теории управления.....	11	1.5. Классификация автоматических систем управления.....	22
1.2. Примеры автоматических систем управления.....	13	1.6. Исторический очерк создания теории управления.....	22

### Часть первая АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

2. Математические модели линейных непрерывных систем.....	29	3.5. Модуляционная внешняя модель дискретной системы.....	82
2.1. Примеры непрерывных систем управления.....	29	3.6. Упражнения.....	89
2.2. Модели состояния системы.....	30	4. Математические модели нелинейных систем.....	93
2.3. Линеаризация моделей системы.....	42	4.1. Примеры нелинейных систем управления.....	93
2.4. Модели типа "вход—выход".....	45	4.2. Математические модели нелинейных систем.....	94
2.5. Графовые модели системы.....	47	4.3. Топологические методы анализа нелинейных систем.....	102
2.6. Взаимосвязь моделей системы.....	53	4.4. Линейные представления нелинейной модели системы.....	112
2.7. Упражнения.....	64	4.5. Упражнения.....	119
3. Математические модели линейных дискретных систем.....	69	5. Свойства и характеристики линейных непрерывных систем управления.....	123
3.1. Примеры цифровых систем управления.....	69	5.1. Управляемость и наблюдаемость.....	123
3.2. Модели состояния линейной дискретной системы.....	70		
3.3. Передаточные функции линейной дискретной системы.....	76		
3.4. Взаимосвязь моделей.....	80		

5.2. Устойчивость линейных систем	126	7.4. Машинные методы анализа качества процессов управления	199
5.3. Чувствительность и робастность систем управления	129	7.5. Упражнения	202
5.4. Динамические характеристики линейных систем	134	<b>8. Исследование устойчивости и качества процессов управления в дискретных линейных системах</b>	205
5.5. Динамические характеристики типовых звеньев линейных систем управления	141	8.1. Управляемость и наблюдаемость	205
5.6. Упражнения	152	8.2. Устойчивость линейных дискретных систем	210
<b>6. Исследование устойчивости линейных непрерывных систем управления</b>	155	8.3. Характеристики дискретных автоматических систем	216
6.1. Метод Ляпунова для оценки устойчивости	155	8.4. Анализ качества процессов управления	220
6.2. Алгебраические критерии устойчивости	157	8.5. Упражнения	222
6.3. Частотные критерии устойчивости	160	<b>9. Исследование устойчивости и качества процессов управления в нелинейных системах</b>	225
6.4. Анализ параметрической устойчивости	164	9.1. Анализ устойчивости в малом	226
6.5. Упражнения	176	9.2. Устойчивость в большом и в целом	229
<b>7. Анализ качества процессов управления в линейных непрерывных системах</b>	179	9.3. Абсолютная устойчивость нелинейных систем управления	233
7.1. Динамические процессы и ошибки в системах управления	179	9.4. Периодические процессы в нелинейных системах	244
7.2. Оценка качества переходных процессов	185	9.5. Анализ качества процессов управления	252
7.3. Стохастические методы анализа качества	193	9.6. Упражнения	256

### Часть вторая СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<b>10. Синтез линейных непрерывных систем в частотной области</b>	261	10.4. Упражнения	263
10.1. Методы последовательной и параллельной коррекции	261	<b>11. Синтез линейных непрерывных систем во временной области</b>	267
10.2. Типовые регуляторы	268	11.1. Методы аналитического конструирования регуляторов	267
10.3. Синтез последовательно-подчиненных регуляторов	274		

11.2. Синтез линейного оптимального регулятора	293	12.4. Упражнения	330
11.3. Наблюдатели состояния линейной системы	298	<b>13. Синтез линейных стохастических систем управления</b>	335
11.4. Синтез замкнутой системы с наблюдателем состояния	306	13.1. Задачи синтеза систем управления при случайных воздействиях	336
11.5. Упражнения	309	13.2. Синтез управления с минимальной дисперсией ошибки	338
<b>12. Синтез цифровых систем управления</b>	313	13.3. Оптимальная стохастическая фильтрация	347
12.1. Синтез системы с последовательно включенным регулятором	313	13.4. Фильтры Калмана	351
12.2. Синтез системы с заданным расположением полюсов	320	13.5. Параметрическая идентификация	357
12.3. Цифровые наблюдатели состояния системы	326	13.6. Упражнения	363

### Часть третья ОПТИМАЛЬНЫЕ И АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

<b>14. Системы управления, оптимальные по заданному критерию</b>	369	15.3. Идентификация объекта управления в замкнутом контуре	421
14.1. Вариационные методы оптимального управления	371	15.4. Адаптивные системы с эталонной моделью	426
14.2. Процедура принципа максимума Понтрягина	376	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b>	431
14.3. Метод динамического программирования Беллмана	382	<b>16. Математический аппарат теории управления</b>	433
14.4. Системы, оптимальные по квадратичному критерию	392	16.1. Матрицы	433
14.5. Системы, оптимальные по быстродействию	396	16.2. Функциональные преобразования	442
14.6. Субоптимальные системы и системы с переменной структурой	402	16.3. Методы оптимизации	445
14.7. Упражнения	406	16.4. Случайные процессы	455
<b>15. Системы управления с адаптацией</b>	409	16.5. Программные средства для анализа и синтеза систем управления	461
15.1. Задачи управления с адаптацией	409	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	463
15.2. Экстремальные системы и регуляторы	411	<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	465