

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

А. С. ДМИТРИЕВ, В. Я. КИСЛОВ

**СТОХАСТИЧЕСКИЕ  
КОЛЕБАНИЯ**  
в радиофизике  
и электронике

Ответственный редактор  
академик Ю. В. ГУЛЯЕВ



МОСКВА «НАУКА»

1989

Дмитриев А. С., Кислов В. Я. **Стохастические колебания в радиофизике и электронике.**— М.: Наука, 1989.— 280 с.— ISBN 5-02-000031-0.

Монография посвящена новой, быстро развивающейся области — стохастическим колебаниям в нелинейных диссипативных радиофизических и электронных системах. Наряду с основополагающими вопросами хаотической динамики общего характера излагаются оригинальные результаты численных и экспериментальных исследований по сложной динамике радиофизических систем с различным числом степеней свободы. Значительное внимание уделяется вопросам использования мини- и персональных ЭВМ в численном и физическом экспериментах.

Книга предназначена для научных работников и инженеров в области радиофизики, электроники, нелинейных колебаний, а также для преподавателей, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Табл. 9. Ил. 123. Библиогр.: 480 назв.

Dmitriev A. S., Kislov V. Ya. **Chaotic oscillations in radio-physics and electronics.**— М.: Nauka, 1989.— 280 pp.

The monograph is dedicated to the new, quickly developing area — chaotic oscillations in nonlinear dissipative physical and electron systems. Concurrent with the basic questions of chaotic dynamics, the original results of numerical and experimental investigations in the field of complex dynamics of dissipative systems with a different number of degrees of freedom are presented. Great attention is being given to mini- and personal computers use in numerical and physical experiments.

The book is intended for the scientists and engineers in the fields of radiophysics and electronics. Tab. 9. Ill. 123. Ref. 480.

Рецензенты:

академик АН УССР Я. Б. ФАЙНБЕРГ,

доктора физико-математических наук

А. К. БЕРЕЗИН, В. Н. ГУБАНКОВ

Д  $\frac{2302020100-334}{055(02)-89}$  686-89, кн. 2

ISBN 5-02-000031-0

© А. С. Дмитриев, В. Я. Кислов, 1989

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>1. Радиофизические системы с собственной сложной динамикой и методы их исследования . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1. Введение . . . . .	13
1.2. Задачи радиофизики и электроники, приводящие к исследованию стохастических колебаний . . . . .	13
1.3. Структурный подход к моделированию радиофизических систем со сложной динамикой . . . . .	20
1.4. Кольцевые радиофизические системы . . . . .	22
1.5. Теоретические предпосылки исследования сложной динамики физических систем . . . . .	28
1.6. Методы и программный комплекс компьютерного моделирования, ориентированные на мини- и персональные ЭВМ	32
1.7. Экспериментальные методы исследования. Обработка данных на ЭВМ . . . . .	36
<b>2. Хаотическая динамика кольцевых автоколебательных систем с полутора степенями свободы . . . . .</b>	<b>44</b>
2.1. Введение . . . . .	44
2.2. Динамика автогенератора с инерционным запаздыванием первого порядка . . . . .	47
2.3. Динамика кольцевой автоколебательной системы с нелинейным фильтром . . . . .	70
2.4. Теоретическое и численное исследование влияния асимметрии на динамику кольцевого автогенератора . . . . .	79
2.5. Экспериментальное исследование автогенератора с асимметричной характеристикой нелинейного элемента . . . . .	93
<b>3. Динамика прерывистых кольцевых автоколебательных систем при внешнем гармоническом воздействии . . . . .</b>	<b>105</b>
3.1. Введение . . . . .	105
3.2. Бифуркации и хаос в неавтономной системе, описываемой уравнением типа Ван-дер-Поля . . . . .	107
3.3. Динамика неавтономного генератора с реактивной нелинейностью . . . . .	118
3.4. Нелокальные явления в неавтономном кольцевом генераторе . . . . .	126
<b>4. Динамический хаос в кольцевых системах с произвольным числом степеней свободы . . . . .</b>	<b>144</b>
4.1. Введение . . . . .	144

4.2.	Странные аттракторы в кольцевых автоколебательных системах с аperiodическими звеньями . . . . .	146
4.3.	Динамика модели с 2,5 степенями свободы и симметричной характеристикой нелинейного элемента . . . . .	148
4.4.	Явление затягивания и переключения мод в системе с 2,5 степенями свободы . . . . .	166
4.5.	Развитие странных аттракторов с ростом надкритичности. Фазовые переходы «хаос — гиперхаос» . . . . .	170
4.6.	Динамика модели с 3,5 степенями свободы. Хаос на основе двух- и трехчастотных колебаний . . . . .	175
4.7.	Проблема редукции от кольцевых систем высокого порядка к системам более низкого порядка . . . . .	177
4.8.	Экспериментальное исследование системы с 2,5 степенями свободы и асимметричной характеристикой нелинейного элемента . . . . .	188
5.	<b>Предельный переход к кольцевым распределенным системам. Некоторые аспекты сложной динамики систем с запаздыванием . . . . .</b>	<b>198</b>
5.1.	Введение . . . . .	198
5.2.	Генератор с запаздывающей обратной связью и нелинейным элементом на основе $p-n-p-n$ -структуры . . . . .	202
5.3.	Конечномерные аналоги модели генератора . . . . .	212
5.4.	Размерность стохастического множества в системах с ЗОС . . . . .	220
5.5.	Размерность странных аттракторов в генераторе с запаздыванием. Эксперимент . . . . .	223
	<b>Приложение. Пакет прикладных программ для исследования динамики систем со стохастическим поведением . . . . .</b>	<b>227</b>
	<b>Литература . . . . .</b>	<b>254</b>