

А. С. Дмитриев  
А. И. Панас

# ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС

НОВЫЕ НОСИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ  
ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ



Москва  
Физматлит  
2002

ББК 22.193

Д 53

УДК 519.6

**ДМИТРИЕВ А. С., ПАНАС А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи.**—М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002.—252 с.—ISBN 5-94052-066-9.

Динамический хаос (хаотические колебания) представляет собой нерегулярное и непредсказуемое на большие времена движение в детерминированных нелинейных динамических системах. Причинами нерегулярности и непредсказуемости является собственная динамика системы, а не влияние шумов и внешних возмущающих факторов. Последнее десятилетие характеризовалось большим интересом к применению хаоса для передачи информации в качестве несущих или модулируемых полезными сигналами колебаний. Это связано как со свойствами динамического хаоса, привлекательными для связанных приложений, так и тенденциями развития самих коммуникационных технологий и систем, испытывающих потребность в новых идеях для решения грандиозных задач типа задачи создания «информационного общества». Отечественные и зарубежные исследования показали, что динамический хаос может быть использован в коммуникационных системах в качестве несущих информацию колебаний. При этом оказалось, что динамический хаос по своим свойствам во многом отличается от такого традиционного носителя информации, как гармонические колебания, и его с полным основанием можно называть новым типом носителя информации для систем связи.

Для научных работников, а также аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

**DMITRIEV A. S., PANAS A.I. Dynamic chaos: novel type of information carrier for communication systems.**

Dynamic chaos (chaotic oscillations) is irregular and unpredictable (over large time intervals) motion of deterministic nonlinear dynamic systems. The reason for the irregularity and unpredictability is the inherent dynamics of the system rather than effect of noise or external perturbing factors. The last decade is characteristic of great interest to applications of chaos in communications as a carrier or as oscillations modulated by useful signals. This is associated both with features of dynamic chaos attractive to communication applications, and with development tendencies of communication technologies and systems, requiring new ideas for achieving such immense goals as building the «information society». As a result of intense studies of Russian and foreign researchers the question of a principle use of dynamic chaos in communications as information-carrying oscillations was answered affirmatively. As was found, in many respects the dynamic chaos is different from such a conventional information carrier as harmonic oscillations, and with good reason it can be called a novel type of information carrier for communication systems. The present book is devoted to investigation of the principles of information transmission with this novel carrier.



ISBN 5-94052-052-9

© А. С. Дмитриев, А. И. Панас, 2002

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	9
<b>Глава 1. Синхронный хаотический отклик . . . . .</b>	<b>19</b>
1.1. Понятие хаотического синхронного отклика . . . . .	20
1.2. Примеры декомпозиции автоколебательных систем . . . . .	21
1.3. Оценка качества хаотического синхронного отклика . . . . .	26
1.4. Устойчивость отклика. Явление «on-off» перемежаемости . . . . .	27
1.5. Отклик в условиях большой расстройки параметров ведущей и ведомой систем . . . . .	33
1.6. Импульсная синхронизация хаотических генераторов . . . . .	36
1.7. Выводы . . . . .	40
<b>Глава 2. Методы передачи информации с использованием синхронного хаотического отклика . . . . .</b>	<b>42</b>
2.1. Хаотическая маскировка . . . . .	42
2.2. Переключение хаотических режимов . . . . .	44
2.3. Нелинейное подмешивание информационного сигнала к хаотическому . . . . .	46
2.4. Использование структуры ФАП . . . . .	49
2.5. Использование адаптивных методов приема . . . . .	51
2.6. Сравнительный анализ схем передачи информации, использующих хаотический синхронный отклик . . . . .	52
2.7. Выводы . . . . .	56
<b>Глава 3. Передача информации с нелинейным подмешиванием информационного сигнала к хаотическому . . . . .</b>	<b>57</b>
3.1. Структура системы. Выбор генератора хаоса . . . . .	57
3.2. Математическая модель системы . . . . .	60
3.3. Передача аналоговой информации. Численный эксперимент . . . . .	61
3.4. Оценка качества передачи информации . . . . .	64
3.5. Эксперименты по передаче речевых и музыкальных сигналов . . . . .	64
3.6. Выводы . . . . .	69
<b>Глава 4. Эксперименты по передаче информации с использованием хаоса в радиодиапазоне . . . . .</b>	<b>71</b>
4.1. Структура коммуникационной системы . . . . .	71
4.2. Математическая модель системы . . . . .	73
4.3. Анализ влияния возмущающих факторов . . . . .	73

4.4.	Экспериментальный макет и его характеристики . . . . .	77
4.5.	Передача речевой информации в радиодиапазоне по кабелю . . . . .	82
4.6.	Передача речевой информации в радиодиапазоне по эфиру . . . . .	83
4.7.	Выводы . . . . .	84
<b>Глава 5.</b>	<b>Прецизионные генераторы хаоса . . . . .</b>	<b>87</b>
5.1.	Критерий прецизионности генераторов . . . . .	88
5.2.	Структура прецизионных генераторов хаоса . . . . .	90
5.3.	Генератор хаоса с 1,5 степенями свободы . . . . .	91
5.4.	Генератор хаоса с 2,5 степенями свободы . . . . .	105
5.5.	Выводы . . . . .	114
<b>Глава 6.</b>	<b>Повышение эффективности схемы с нелинейным подмешиванием информации . . . . .</b>	<b>116</b>
6.1.	Схема связи с суммированием по модулю хаотического и информационного сигналов . . . . .	117
6.2.	Схема с частотной модуляцией информационного сигнала . . . . .	128
6.3.	Выводы . . . . .	134
<b>Глава 7.</b>	<b>Применение цифровых сигнальных процессоров для реализации схемы с нелинейным подмешиванием информации . . . . .</b>	<b>136</b>
7.1.	Цифровой сигнальный процессор ADSP-21061 и его основные характеристики . . . . .	137
7.2.	Эксперименты со схемой на одном сигнальном процессоре . . . . .	138
7.3.	Реализация схемы с нелинейным подмешиванием на двух отдельных сигнальных процессорах . . . . .	145
7.4.	Выводы . . . . .	148
<b>Глава 8.</b>	<b>Система передачи информации для работы в условиях фильтрации сигналов в канале связи . . . . .</b>	<b>149</b>
8.1.	Борьба с фильтрацией сигналов в канале связи . . . . .	149
8.2.	Структура системы . . . . .	150
8.3.	Математическое моделирование . . . . .	152
8.4.	Макетирование хаотических модулей передатчика и приемника . . . . .	154
8.5.	Синхронный хаотический отклик . . . . .	159
8.6.	Передача тестовых информационных сигналов . . . . .	161
8.7.	Выводы . . . . .	162
<b>Глава 9.</b>	<b>Прямохаотические системы передачи информации . . . . .</b>	<b>164</b>
9.1.	Понятие прямохаотической системы . . . . .	164
9.2.	Некоторые возможные схемы для организации прямохаотической системы . . . . .	165

---

9.3. Генераторы хаоса ВЧ- и СВЧ- диапазонов . . . . .	169
9.4. Хаотическая синхронизация на высоких частотах . . . . .	185
9.5. Ввод и извлечение информации . . . . .	186
9.6. Прямохаотическая система с некогерентным приемом . . . . .	189
9.7. Выводы . . . . .	200
<b>Глава 10. Сверхширокополосные прямохаотические системы связи . . . . .</b>	<b>201</b>
10.1. Структура . . . . .	202
10.2. Компьютерное моделирование . . . . .	204
10.3. Эксперименты . . . . .	211
10.4. Выводы . . . . .	215
Заключение . . . . .	216
<b>Приложение. Моделирующий комплекс . . . . .</b>	<b>218</b>
П.1. Структура комплекса . . . . .	218
П.2. Методика проведения численного моделирования . . . . .	223
П.3. Пакет программ для анализа схемы с нелинейным под- мешиванием . . . . .	231
Список литературы . . . . .	240