

А.Н. Тырсин

**ЭНТРОПИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МНОГОМЕРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

Монография

**Воронеж
Издательство «Научная книга»
2016**

УДК 519.2:519.711.3:519.722

ББК 22.17

Т 93

Рецензенты:

Кипнис М.М., д-р физ.-мат. наук, профессор, Челябинский
государственный педагогический университет

Дильман В.Л., д-р физ.-мат. наук, доцент, Южно-Уральский
государственный университет (национальный
исследовательский университет)

Т 93 Тырсин, А.Н. Энтропийное моделирование многомерных
стохастических систем: Монография. – Воронеж: Издательство
«Научная книга», 2016. – 156 с.

ISBN 978-5-98222-890-1

Монография посвящена применению дифференциальной энтропии для моделирования процессов в сложных системах. Излагается общая теория энтропийного моделирования для описания многомерных стохастических систем. При этом стохастическая система может быть представлена в виде случайного вектора.

Установлен триализм дифференциальной энтропии случайных векторов. Он состоит в том, что существуют три причины изменения энтропии случайного вектора: изменение степени рассеяния его компонент, изменение форм распределений его компонент и изменение тесноты корреляционных связей между его компонентами. На основе концепции, что энтропия является универсальным параметром состояния системы, предложены методы повышения эффективности функционирования стохастических систем. Рассмотрены задачи управления системой с целью увеличения или уменьшения ее энтропии, а также диагностики и контроля состояния системы на основе анализа изменения энтропии. Приведены примеры практического использования предложенного подхода для стохастических систем различной природы.

Книга будет полезна специалистам в области математического моделирования сложных систем, прикладной статистики и многомерного статистического анализа, а также всем исследователям, изучающим поведение открытых стохастических систем.

Рис. 26. Табл. 22. Библиогр.: 141 назв.

УДК 519.2:519.711.3:519.722

ББК 22.17

Т 93

ISBN 978-5-98222-890-1

© Тырсин А.Н., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Никто не знает, что же такое эта энтропия на самом деле.

Джон фон Нейман.

Предисловие к книге: Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. – М.: Мир, 1988, с. 18.

Роль математического моделирования в научных исследованиях неуклонно возрастает. Его суть заключается в замене объекта его «образом» – математической моделью и дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах алгоритмов. Одним из основных направлений развития моделирования является исследование сложных систем, к характерным особенностям которых относятся открытость, многомерность, стохастический характер поведения, взаимосвязь между элементами.

Актуальным направлением математического моделирования сложных систем является их исследование методами системного анализа. Это позволяет рассматривать систему в целом, учитывая все взаимосвязи между элементами. К одному из таких перспективных направлений для моделирования сложных систем можно отнести энтропийное моделирование. Энтропия является фундаментальным свойством любых систем с неоднозначным, или вероятностным, поведением. В настоящее время достаточно распространено использование энтропии для описания поведения многомерных стохастических систем в различных областях. Однако, несмотря на частое использование этого термина, использование энтропии для моделирования открытых систем, в отличие от термодинамики, недостаточно формализовано и носит в основном качественный характер, отсутствуют достаточно простые и адекватные математические модели, позволяющие связать энтропию с фактическими характеристиками состояний стохастических систем.

В книге описывается новый энтропийный метод моделирования многомерных стохастических систем. В его основе лежит представление системы в виде случайного вектора, компоненты которого моделируют поведение элементов стохастической системы. В качестве математической модели системы используется дифференциальная энтропия случайного вектора.

Часть результатов была получена совместно с аспирантами И.С. Соколовой, И.А. Клявиным, О.В. Лебедевой.

Исследования были поддержаны проектами № 09-М-12-2001 и № 12-М-127-2049 Программ междисциплинарных фундаментальных исследований Уральского отделения РАН, выполненными в Научно-инженерном центре "Надежность и ресурс больших систем и машин" Уральского отделения Российской академии наук.

Книга будет полезна специалистам в области математического моделирования сложных систем, прикладной статистики и многомерного статистического анализа, а также всем исследователям, изучающим поведение открытых стохастических систем.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА 1. Проблематика энтропийного моделирования сложных систем.....	5
1.1. Сложные системы.....	5
1.2. Моделирование сложных систем.....	11
1.3. Энтропия как математическая модель сложной системы.....	14
1.4. Выводы.....	19
ГЛАВА 2. Энтропийное моделирование гауссовских стохастических систем.....	21
2.1. Энтропийная модель гауссовской многомерной стохастической системы.....	21
2.2. Исследование энтропийной модели гауссовской стохастической системы.....	31
2.3. Выводы.....	42
ГЛАВА 3. Энтропийное управление гауссовской стохастической системой.....	44
3.1. Задачи управления системой на основе энтропийной модели.....	44
3.2. Алгоритмы реализации задач управления системой.....	58
3.3. Выводы.....	68
ГЛАВА 4. Дифференциальная энтропия случайных векторов.....	69
4.1. Свойства дифференциальной энтропии случайных векторов.....	69
4.2. Совместная корреляционная зависимость многомерных случайных величин.....	86
4.3. Выводы.....	91
ГЛАВА 5. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем. Свойства, оценивание.....	93
5.1. Энтропия случайного вектора как диагностическая модель многомерной стохастической системы.....	93
5.2. Оценивание энтропийных показателей законов распределений случайных величин.....	99
5.3. Оценивание индексов детерминации многомерных регрессионных зависимостей.....	104
5.4. Выводы.....	119

ГЛАВА 6. Практические примеры энтропийного моделирования стохастических систем.....	121
6.1. Моделирование системы, характеризующей безопасность производства.....	121
6.2. Моделирование макроэкономической системы на примере Российской Федерации.....	125
6.3. Моделирование системы, оказывающей влияние на численность населения Российской Федерации	130
6.4. Моделирование энтропийной динамики работы автотранспортного предприятия	134
6.5. Оценка состояния здоровья популяции на основе энтропийного моделирования.....	136
6.6. Выводы.....	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	145
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	147

Научное издание

Тырсин Александр Николаевич

**ЭНТРОПИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНЫХ
СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Монография

Издание публикуется в авторской редакции

Дизайн обложки С.А. Кравец

Подписано в печать 11.01.2016. Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 10,0. Заказ 000. Тираж 500 экз.

ООО Издательство «Научная книга»
394077, Россия, г. Воронеж, ул. 60-й Армии, 25-120
<http://www.sbook.ru/>

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Цифровая полиграфия»
394036, Россия, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, 52
Тел. (473) 261-03-61