

А.Н. ТЫРСИН

**ВЕКТОРНОЕ ЭНТРОПИЙНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
МНОГОМЕРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**



---

А.Н. ТЫРСИН

---

**ВЕКТОРНОЕ ЭНТРОПИЙНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ  
МНОГОМЕРНЫХ  
СТОХАСТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**

МОСКВА НАУКА 2022

УДК 519.2; 519.7  
ББК 22.17  
Т93



*Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 21-11-00012, не подлежит продаже*

### **Тырсин А.Н.**

Векторное энтропийное моделирование многомерных стохастических систем / А.Н. Тырсин. – М.: Наука, 2022. – 231 с. – ISBN 978-5-02-040905-7.

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

Энтропия впервые рассматривается как векторная величина, состоящая из энтропии хаотичности и энтропии самоорганизации, которые характеризуют разные свойства системы. Векторное представление энтропии с компонентами в виде энтропий хаотичности и самоорганизации позволяет адекватно интерпретировать изменения, происходящие в системе, и формировать управленческие решения для повышения эффективности функционирования стохастических систем. Введена энтропия взаимосвязи, характеризующая взаимодействие между многомерными стохастическими системами. Показана взаимосвязь между энтропийным моделированием и корреляционно-регрессионным анализом. Предложена вероятностно-энтропийная концепция устойчивого развития сложных систем, которая основана на моделях векторной энтропии и многомерного риска. Приведены примеры практического использования предложенного подхода для стохастических систем различной природы.

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

ISBN 978-5-02-040905-7

© Тырсин А.Н., 2022  
© ФГБУ Издательство «Наука»,  
редакционно-издательское  
оформление, 2022

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Глава 1. Проблематика энтропийного моделирования сложных систем</b> .....	4
1.1. Большие и сложные системы .....	4
1.2. Моделирование сложных систем .....	14
1.3. Энтропия как математическая модель сложной системы .....	17
Выводы .....	22
<b>Глава 2. Энтропийное моделирование гауссовских стохастических систем</b> .....	24
2.1. Энтропийная модель гауссовской стохастической системы .....	24
2.2. Исследование энтропийной модели гауссовской стохастической системы .....	34
2.3. Задачи управления системой на основе энтропийной модели .....	43
2.4. Алгоритмы реализации задач управления гауссовской стохастической системой .....	56
Выводы .....	65
<b>Глава 3. Дифференциальная энтропия случайных векторов</b> .....	66
3.1. Свойства дифференциальной энтропии случайных векторов .....	66
3.2. Совместная корреляционная зависимость многомерных случайных величин .....	81
3.3. Взаимная корреляционная зависимость между случайными векторами .....	86
3.4. Векторная энтропия многомерной стохастической системы .....	94
Выводы .....	99
<b>Глава 4. Векторное энтропийное моделирование в задачах мониторинга и управления многомерными стохастическими системами</b> .....	100
4.1. Мониторинг состояния многомерных стохастических систем на основе векторного представления энтропии .....	100
4.2. Энтропийное моделирование дискретных случайных векторов на примере группировок и балльных показателей .....	106
4.3. Векторное энтропийное управление: задачи и модели .....	110
Выводы .....	114
<b>Глава 5. Векторное энтропийное моделирование: практическая реализация</b> .....	116
5.1. Оценивание энтропийных показателей законов распределений случайных величин .....	116
5.2. Оценивание индексов детерминации многомерных регрессионных зависимостей .....	121
5.3. Алгоритмы спуска по узловым прямым в задаче оценивания регрессионных уравнений методом наименьших модулей .....	133
5.4. Аспекты реализации задач мониторинга и управления многомерными стохастическими системами .....	142
Выводы .....	146

<b>Глава 6. Энтропия и устойчивое развитие сложных систем</b> .....	148
6.1. Модель многомерного риска многомерных стохастических систем .....	148
6.2. Модели управления многомерным риском .....	155
6.3. Численная реализация управления риском на примере гауссовских систем .....	162
6.4. Вероятностно-энтропийная концепция устойчивого развития многомерных стохастических систем .....	167
Выводы .....	169
<b>Глава 7. Практические примеры энтропийного моделирования сложных систем</b> .....	171
7.1. Практические примеры энтропийного моделирования стохастических систем в технике .....	171
7.1.1. Моделирование системы, характеризующей безопасность производства .....	171
7.1.2. Использование энтропийного моделирования для анализа эффективности системы заводнения .....	177
7.2. Практические примеры энтропийного моделирования стохастических систем в экономике .....	185
7.2.1. Моделирование макроэкономической системы на примере Российской Федерации .....	185
7.2.2. Моделирование системы, оказывающей влияние на численность населения Российской Федерации .....	189
7.2.3. Моделирование энтропийной динамики работы автотранспортного предприятия .....	192
7.2.4. Энтропийный мониторинг развития мегаполисов .....	194
7.2.5. Оценка эффективности финансирования социальной сферы в регионах .....	197
7.3. Практические примеры энтропийного моделирования стохастических систем в медицине .....	200
7.3.1. Оценка состояния здоровья популяции на основе энтропийного моделирования .....	200
7.3.2. Энтропийный анализ эффективности липиднормализующих препаратов .....	209
Выводы .....	215
<b>Заключение</b> .....	216
<b>Литература</b> .....	218