

Оглавление

Предисловие	9
1 Введение: актуальные динамические задачи в атомной энергетике	11
1.1 Атомная энергетика стран мира	11
1.2 Атомная энергетика Российской Федерации	26
2 Динамические системы с обратными связями	37
2.1 Определение и структура описания динамических систем . . .	37
2.2 Основные парадигмы имитационного моделирования динамических систем	41
2.2.1 Динамические системы	42
2.2.2 Дискретно-событийное моделирование	44
2.2.3 Многоагентные системы	49
2.2.4 Системная динамика	50
2.3 Построение имитационных моделей	65
3 Детерминированные динамические системы с непрерывным и дискретным временем	75
3.1 Обыкновенные дифференциальные уравнения и системы . . .	75
3.1.1 Линейные однородные уравнения с постоянными коэффициентами	75
3.1.2 Линейные неоднородные уравнения с постоянными коэффициентами	78
3.1.3 Метод комплексных амплитуд	79
3.1.4 Линейные однородные системы с постоянными коэффициентами	81
3.1.5 Линейные неоднородные системы с переменными коэффициентами	82
3.1.6 Линейное уравнение n -го порядка	83
3.1.7 Устойчивость линейной однородной системы с постоянными коэффициентами	84
3.2 Детерминированные динамические системы с дискретным временем	85

3.2.1	Линейные разностные уравнения	85
3.2.2	Линейные однородные разностные уравнения с постоянными коэффициентами	87
3.2.3	Линейное неоднородное разностное уравнение	89
3.2.4	Линейные системы разностных уравнений	90
3.2.5	Линейная однородная система разностных уравнений с постоянными коэффициентами	92
3.2.6	Устойчивость решений линейных систем разностных уравнений	94
4	Стохастические динамические системы с дискретным и непрерывным временем	95
4.1	Дискретные марковские цепи с дискретным и непрерывным временем	95
4.1.1	Дискретное приближение процесса броуновского движения	95
4.1.2	Уравнение в частных производных, связанное с процессом броуновского движения	99
4.1.3	Броуновское движение с постоянным сносом	100
4.1.4	Дискретные марковские цепи	101
4.1.5	Дискретные марковские цепи с непрерывным временем	104
4.1.6	Дифференциальные уравнения Колмогорова для дискретной марковской цепи с непрерывным временем	107
4.1.7	Вывод прямых и обратных уравнений Колмогорова: конечное множество состояний	111
4.1.8	Вероятностный смысл уравнений Колмогорова	113
4.1.9	Уравнения Колмогорова в случае бесконечного числа состояний	114
4.2	Общие марковские процессы с непрерывным временем	115
4.2.1	Марковские процессы с непрерывным временем и непрерывным множеством состояний	115
4.2.2	Уравнения Колмогорова	117
4.2.3	Преобразование генератора диффузии при переходе к функции от процесса	122
4.3	Стохастические дифференциальные уравнения	124
4.3.1	Уравнение Фоккера–Планка и стохастические дифференциальные уравнения	124
4.3.2	Стохастический интеграл Ито	126
4.4	Стационарные случайные процессы с дискретным и непрерывным временем	131
4.4.1	Свойства второго порядка	131
4.4.2	Непрерывность и дифференцируемость в среднеквадратичном	132
4.4.3	Интегрируемость в среднеквадратичном	134
4.4.4	Интегралы по ортогональной случайной мере	135
4.4.5	Стационарные в широком смысле процессы	137

4.4.6	Разложение стационарного процесса на гармонические составляющие	138
4.4.7	Представление стационарного процесса в виде скользящего среднего	142
4.4.8	Разложение Вольда	148
4.4.9	Линейные динамические системы	150
4.4.10	Реакция линейных систем на случайные воздействия	154
4.4.11	Прогноз и фильтрация стационарных процессов	156
4.5	Информационные измерительные системы	160
4.5.1	Информационный синтез оптимальных характеристик одномерных динамических систем с изопараметрическим ограничением	160
4.5.2	Выбор интервала дискретизации измерений по критерию максимума информации	162
4.5.3	Синтез информационно-измерительной системы по информационному критерию качества	165
4.5.4	Оптимизация информационно-измерительной системы по точностному критерию методом нелинейного программирования	167
4.5.5	Метод синтеза оптимальных дискретных систем по информационному критерию при случайных сигналах со стационарными приращениями	169
4.5.6	Шенноновская информация	171
4.5.7	Измерительные информационные системы	176
4.6	Фильтр Калмана	187
4.6.1	Модальное управление при полной информации о состоянии системы	187
4.6.2	Наблюдаемость линейных стационарных систем	188
4.6.3	Принцип построения наблюдающего устройства в виде модели системы с обратной связью по ошибке восстановления	190
4.6.4	Фильтр Калмана как оптимальное наблюдающее устройство в нестационарной системе	191
4.6.5	Дискретный фильтр Калмана как устройство, выдающее наилучшую линейную несмещенную оценку состояния	193
4.6.6	Фильтр Калмана как оптимальное наблюдающее устройство в стационарной системе	194
4.6.7	Построение дискретного фильтра Калмана	195
4.6.8	Построение непрерывного фильтра Калмана–Бьюси	203
5	Статистический анализ динамических систем	211
5.1	Линейная статистическая модель	211
5.1.1	Кривая регрессии	211
5.1.2	Линейная статистическая модель	212
5.1.3	Линейные несмещенные оценки вектора среднего	213

5.1.4	Наилучшие линейные несмещенные оценки: геометрический подход	214
5.1.5	Наилучшие линейные несмещенные оценки как оценки наименьших квадратов	215
5.1.6	Матрица ковариаций наилучших линейных несмещенных оценок вектора среднего	216
5.1.7	Наилучшие линейные несмещенные оценки коэффициентов регрессии	216
5.1.8	Матрица ковариаций наилучших оценок	218
5.1.9	Нормальная система уравнений	219
5.1.10	Каноническая форма линейной модели	219
5.1.11	Оценивание дисперсии	221
5.1.12	Коррелированные наблюдения	221
5.1.13	Коррелированные наблюдения: геометрический подход	222
5.1.14	Метод максимального правдоподобия	223
5.1.15	Выборка из нормального распределения	225
5.1.16	Состоятельность и асимптотическая нормальность оценок	227
5.1.17	Асимптотическая взаимная сингулярность распределений в повторной выборке	228
5.1.18	Логарифм отношения правдоподобия асимптотически «разъединяет» носители распределений в повторной выборке	229
5.1.19	Состоятельный корень уравнения правдоподобия	230
5.1.20	Асимптотическая нормальность оценки максимального правдоподобия: скалярный параметр	230
5.1.21	Асимптотическая нормальность оценок уравнения максимума правдоподобия: векторный параметр	234
5.1.22	Многомерное нормальное распределение	237
5.1.23	Доверительные области в линейной модели с независимыми нормальными ошибками	239
5.1.24	Проверка линейных гипотез	241
5.2	Анализ временных рядов	242
5.2.1	Стационарные временные ряды	242
5.2.2	Ковариационно-стационарные временные ряды	245
5.2.3	Процессы скользящего среднего. Геометрия случайных величин с конечными вторыми моментами	248
5.2.4	Процесс авторегрессии	252
5.2.5	Нестационарные ARMA-модели, модель ARIMA	257
5.3	Анализ панельных данных	260
5.3.1	Анализ ковариаций	260
5.3.2	Простая регрессия, модели с фиксированными и случайными эффектами	266
5.3.3	Обобщенный метод наименьших квадратов	270
5.3.4	Оценки максимального правдоподобия	273

<i>ОГЛАВЛЕНИЕ</i>	7
6 Заключение	275
А Пример системно-динамической модели «СДМ-АЭС»	277
В Пример мультиагентной модели «Топливный цикл»	279
Литература	281