

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В.П. Тарасик

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

У Ч Е Б Н И К



Оглавление

Предисловие	7
Введение.....	9
1. Общие сведения о моделировании технических систем	14
1.1. Методология автоматизированного проектирования	14
1.2. Структура и параметры объектов проектирования	17
1.3. Особенности технологии автоматизированного проектирования	18
1.4. Постановка задач проектирования	20
1.5. Классификация математических моделей	22
1.6. Режимы функционирования технических объектов	28
2. Математические модели технических объектов на микроуровне	33
2.1. Объекты проектирования на микроуровне	33
2.2. Основы построения математических моделей на микроуровне	35
2.3. Модели тепловых систем на микроуровне	37
2.4. Модели гидравлических систем на микроуровне	42
2.5. Модели механических систем на микроуровне	46
2.6. Приближенные математические модели технических объектов на микроуровне	48
3. Математические модели простых дискретных элементов технических объектов	64
3.1. Объекты проектирования на макроуровне	64
3.2. Динамическая модель технического объекта на макроуровне	65
3.3. Компонентные и топологические уравнения	70
3.4. Компонентные и топологические уравнения механической системы ...	72
3.5. Компонентные и топологические уравнения гидравлической системы	75
3.6. Компонентные и топологические уравнения тепловой системы	79
3.7. Компонентные и топологические уравнения электрической системы ...	82
3.8. Аналогии в динамических системах	83
3.9. Определение параметров элементов динамических моделей технических объектов	84
4. Основы построения теоретических математических моделей на макроуровне	94
4.1. Способы построения теоретических моделей	94
4.2. Графические формы представления математических моделей	96
4.3. Матричная форма представления математической модели	103
4.4. Узловой метод формирования математической модели	106
4.5. Общее уравнение динамики	113

4.6. Уравнения Лагранжа второго рода	137
4.7. Метод функционально законченных элементов	150
5. Структурно-матричный метод формирования математических моделей	159
5.1. Основы структурно-матричного метода	159
5.2. Моделирование технических объектов с трансформаторными элементами	167
5.3. Сложное движение твердого тела	183
5.4. Моделирование механической системы при пространственном движении твердых тел	188
5.5. Моделирование механической системы при плоском движении твердых тел	194
5.6. Моделирование технических объектов с фрикционными элементами	198
5.7. Моделирование дифференциальных приводов	205
5.8. Моделирование теплопередачи в твердых телах	213
5.9. Моделирование электромеханических систем	226
6. Моделирование нелинейных систем и систем с виртуальными и неголономными связями	244
6.1. Виды нелинейных характеристик элементов технических систем ...	244
6.2. Моделирование нелинейных элементов	246
6.3. Моделирование нелинейных систем	249
6.4. Связи элементов технической системы	254
6.5. Моделирование технических объектов с неудерживающими связями	255
6.6. Моделирование неголономных систем	259
7. Качественный анализ и упрощение математических моделей	267
7.1. Задачи качественного анализа математических моделей	267
7.2. Оценка свойств математической модели	268
7.3. Собственные значения матрицы Якоби математической модели	271
7.4. Оценка физических свойств технической системы по спектру матрицы Якоби	276
7.5. Топология динамических моделей технических систем	282
7.6. Упрощение динамических моделей механических систем	289
7.7. Упрощение динамических моделей гидравлических и гидромеханических систем	302
7.8. Моделирование планетарных передач	310
8. Моделирование и анализ статических состояний	320
8.1. Задачи анализа статических состояний технических систем	320
8.2. Постановка задач анализа статических состояний	321

8.3. Численные методы решения систем алгебраических уравнений	322
8.4. Метод простой итерации	325
8.5. Метод Зейделя	328
8.6. Методы релаксации	329
8.7. Метод Ньютона	330
8.8. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений	333
8.9. Метод Гаусса	334
8.10. Метод LU -разложения	337
8.11. Решение систем линейных алгебраических уравнений с ленточными матрицами	340
8.12. Анализ статических состояний линейных технических систем	341
8.13. Анализ статических состояний нелинейных технических систем	348
9. Моделирование и анализ переходных процессов	356
9.1. Задачи анализа переходных процессов технических систем	356
9.2. Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений	358
9.3. Погрешности численных методов интегрирования	362
9.4. Устойчивость численных методов интегрирования	365
9.5. Выбор шага интегрирования	368
9.6. Одношаговые методы интегрирования	370
9.7. Многошаговые методы интегрирования	377
9.8. Методы прогноза и коррекции	379
9.9. Неявные методы интегрирования	380
9.10. Алгоритмы неявных методов интегрирования	392
9.11. Оценка показателей качества переходных процессов	394
9.12. Анализ переходных процессов технических систем	401
10. Моделирование и анализ вероятностных систем	405
10.1. Основные понятия теории вероятностей	405
10.2. Распределения вероятностей	408
10.3. Числовые вероятностные характеристики	412
10.4. Теоретические распределения вероятностей	417
10.5. Моделирование случайных величин	423
10.6. Основные свойства случайных процессов	425
10.7. Моделирование реализаций случайных процессов	427
10.8. Оценки вероятностных характеристик реализаций случайных процессов	429
10.9. Определение статистических оценок вероятностных характеристик случайных процессов	431
10.10. Частотный метод анализа стационарных случайных процессов	444
10.11. Оценки числовых характеристик случайных величин	449

11. Экспериментальные факторные математические модели	451
11.1. Особенности экспериментальных факторных моделей	451
11.2. Основные принципы планирования эксперимента	454
11.3. План эксперимента	456
11.4. Регрессионный анализ	459
11.5. Оценка параметров регрессионной модели	461
11.6. Планы экспериментов и их свойства	465
11.7. План однофакторного эксперимента	466
11.8. План полного факторного эксперимента	469
11.9. План дробного факторного эксперимента	473
11.10. Генерирующие соотношения и определяющие контрасты	478
11.11. Статистический анализ результатов активного эксперимента	479
11.12. Определение коэффициентов регрессионной модели и проверка их значимости	482
11.13. Проверка адекватности и работоспособности регрессионной модели	484
11.14. Планы второго порядка	486
11.15. Регрессионный анализ результатов вычислительного эксперимента на детерминированной математической модели	488
11.16. Получение математической модели на основе пассивного эксперимента	495
12. Оптимизация параметров технических систем	498
12.1. Принцип локальной оптимизации в методологии автоматизированного проектирования	498
12.2. Основные понятия и определения параметрической оптимизации ..	499
12.3. Определение экстремума аналитической целевой функции	505
12.4. Поисковая оптимизация	509
12.5. Постановка задач оптимизации	511
12.6. Формирование целевой функции в многокритериальной задаче оптимизации	514
12.7. Выбор управляемых параметров	521
12.8. Методы поиска экстремума целевой функции	524
12.9. Методы безусловной оптимизации	525
12.10. Оптимизация в условиях сложного рельефа поверхности целевой функции	543
12.11. Оптимизация параметров технических систем с учетом ограничений	559
12.12. Оптимизация параметров на основе максиминной стратегии	572
Приложения	577
Литература	585
Предметный указатель	587