

ЗМІСТ

ВСТУП Поняття про системи і процеси	13
--	----

ЧАСТИНА 1. ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕОРІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ	19
1.1 Постановка задачі моделювання та оптимізації систем	19
1.1.1 Сутність математичного моделювання та оптимізації	19
1.1.2 Еволюція задач моделювання	22
1.1.3 Роль моделювання та оптимізації в системах управління.	23
1.2 Види моделей	26
1.2.1 Моделі вербальні, формальні, алгоритмічні, графічні, фізичні	26
1.2.2 Моделі геометричні, структурні, функціональні, інформаційні	27
1.2.3 Моделі статичні, моделі динаміки	27
1.2.4 Моделі процесів, перетворень і систем	28
1.2.5 Моделі детерміновані, стохастичні, нечіткі, узагальнені	28
1.2.6 Моделі агрегатні, комплексні	28
1.2.7 Моделі аналітичні, імітаційні	30
1.3 Характеристики моделей	31
1.3.1 Точність моделі	31
1.3.2 Вірогідність моделі	33
1.3.3 Адекватність моделі	33
1.3.4 Складність моделі	35
1.3.5 Універсальність моделі	37
1.3.6 Поняття «жорстких» та «м'яких» математичних моделей	38
1.4 Систематичний підхід до моделювання	40
1.4.1 Ізоморфні та гомеоморфні моделі	40
1.4.2 Теорія подібності	41
1.4.3 Взаємний зв'язок та перетворення моделей	48
1.4.4 Аналіз і синтез моделей	48
1.4.5 Модель як σ -алгебра	49
1.4.6 Метричний простір моделей	49
1.5 Моделі в умовах невизначеності	51
1.5.1 Джерела і види невизначеності моделей	51
1.5.2 Типи невизначеності моделей	52
1.5.2.1 Стохастична невизначеність	52
1.5.2.2 Нечітка невизначеність	65
1.5.2.3 Хаотична невизначеність	68

1.5.2.4	Узагальнена невизначеність	69
1.5.2.5	Невизначеність вищих порядків	72
1.5.3	Невизначені характеристики моделі	74
1.5.4	Форми подання невизначеності	77
1.5.5	Моделі перетворення характеристик сигналів з різною формою невизначеності	79
1.5.5.1	Невизначеність вищих порядків	79
1.5.5.2	Методи моделювання перетворень нечітких даних	83
1.5.5.3	Перетворення узагальнюючої функції	86
	Ключові слова	90
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	90
	Література	92
2	СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ	95
2.1	Поняття та способи структурування об'єктів моделювання.....	95
2.2	Графи як узагальнення структурних моделей	99
2.3	Способи формалізації структурних моделей	104
2.4	Формальні перетворення структурних моделей	107
2.5	Потокові графи	114
	Ключові слова	117
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	117
	Література	118
3	ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОДЕЛІ	119
3.1	Моделі статичні	120
3.1.1	Модель статичності як окремий випадок загальної операторної функціональної моделі	120
3.1.2	Лінійні та нелінійні моделі. Типові нелінійності	120
3.1.3	Лінеаризовані моделі	122
3.1.4	Нелінійна апроксимація (поліномами, сплайнами, вейвлетами тощо)	124
3.1.5	Моделі логіки	128
3.2	Моделі динаміки	130
3.2.1	Модель динаміки як окремий випадок загальної операторної функціональної моделі	130
3.2.2	Моделі динаміки у просторі станів	130
3.2.3	Моделі динаміки у просторі зображень	133
3.2.4	Моделі динаміки у просторі спектрів	136
3.2.5	Моделі динаміки дискретних систем	140
3.3	Моделі обслуговування	144
3.3.1	Поняття системи масового обслуговування	144

3.3.2	Характеристики СМО	147
3.3.3	Моделі типових СМО	148
3.4	Алгоритмічні моделі	159
3.4.1	Основні поняття теорії алгоритмів	159
3.4.2	Основи алгоритмічної алгебри	164
3.4.3	Подання алгоритмічних моделей	165
3.4.4	Ізоморфізм та гомеоморфізм в мовах програмування як основа комп'ютерного моделювання	171
3.5	Агрегатні та комплексні функціональні моделі	172
3.5.1	Формальні перетворення функціональних моделей	172
3.5.2	Агрегування моделей лінійних систем	172
3.5.3	Агрегування моделей нелінійних систем	176
	Ключові слова	178
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	178
	Література	180
4	ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ	182
4.1	Основні поняття теорії інформації	182
4.2	Бази даних і знань як інформаційні моделі	188
4.3	Семантичні мережі і гіпертекстові системи	193
4.3.1	Поняття про семантичні моделі	193
4.3.2	Моделі гіпертекстових систем	186
4.3.3	Критерії оцінювання гіпертекстових структур	199
4.4	Інформаційні потоки	202
	Ключові слова	207
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	207
	Література	208
 ЧАСТИНА 2. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ МОДЕЛЮВАННЯ		
5	ПОНЯТТЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ	210
5.1	Задачі ідентифікації	211
5.1.1	Структурна ідентифікація	213
5.1.2	Параметрична ідентифікація	214
5.2	Ідентифікаційний експеримент	218
5.2.1	Пасивна ідентифікація функціональної моделі	218
5.2.2	Активна ідентифікація функціональної моделі	222
5.2.3	Ідентифікація алгоритмічної моделі	228
5.2.4	Ідентифікація інформаційної моделі	230
	Ключові слова	232
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	232
	Література	232

6 МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ	234
6.1 Статистична ідентифікація	234
6.1.1 Статистична оцінка законів розподілу випадкових величин	235
6.1.2 Кореляційний аналіз	236
6.1.3 Факторний аналіз	239
6.1.4 Регресійний аналіз	244
6.1.5 Спектральний аналіз	248
6.2 Інтелектуальні засоби ідентифікації	252
6.2.1 Ідентифікація шляхом навчання нейронних мереж	252
6.2.2 Нечітка ідентифікація	258
6.2.3 Узгодження і уточнення рішень	269
6.3 Ідентифікація хаотичних систем	271
6.3.1 Параметрична ідентифікація хаотичної динамічної системи Дуффінга	272
6.3.2 Адаптивно-пошукова ідентифікація хаотичної динамічної системи Ресслера	274
Ключові слова	277
Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	278
Література	278
7 МЕТОДИ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	280
7.1 Інтерполяція	280
7.1.1 Різницеві методи	281
7.1.2 Інтерполяція за Лагранжем	287
7.1.3 Сплайн-інтерполяція	289
7.1.3.1 Класичний кубічний сплайн	292
7.1.3.2 Створення сплайнових параметричних кривих	295
7.2 Апроксимація даних	302
7.3 Статистична обробка даних	306
7.4 Цифрова обробка сигналів	311
7.4.1 Загальні відомості та поняття	311
7.4.2 Загальна структура системи цифрової обробки аналогових сигналів	313
7.4.3 Дискретні та неперервні сигнали	315
7.4.4 Теорема Котельникова	317
7.4.5 Дискретні перетворення сигналів	320
7.4.5.1 Спектр Фур'є неперервних та дискретних сигналів	321
7.4.5.2 Дискретне перетворення Фур'є	323
7.4.5.3 Застосування ДПФ	327

7.4.6	Перетворення Лапласа	329
7.4.7	Застосування перетворення Лапласа в системах обробки даних	330
7.4.8	Ортогональні перетворення в діадних базисах	333
7.4.9	Згортка. Кореляція	334
7.4.10	Цифрова фільтрація сигналів	337
7.5	Методи обробки зображень	343
7.5.1	Класичні методи обробки зображень	343
7.5.2	Статистичні методи аналізу зображень	346
7.5.3	Фільтрація зображень	347
7.5.4	Методи на основі динамічних моделей	355
7.5.5	Методи на основі декомпозиції на власні вектори	357
7.5.6	Методи класифікації елементів зображень	358
7.5.7	Фрактальні методи	362
7.5.8	Вейвлет-перетворення	374
7.6	Інтервальний аналіз	383
7.6.1	Класична інтервальна арифметика	383
7.6.2	Інтервальне розширення та звуження	385
7.6.3	Диференціювання та інтегрування в інтервальному аналізі	386
7.6.4	Інтервальні методи розв'язання диференціальних рівнянь	389
7.6.5	Інтервальний метод другого порядку для розв'язання звичайних диференціальних рівнянь	389
7.6.6	Інтервальні методи типу Рунге-Кутта	390
7.6.7	Метод Крукенберга	391
7.6.8	Подання інтервальної функції через граничні дійсні функції	393
7.6.9	Розширення інтервальної арифметики	395
	Ключові слова	397
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	397
	Література	401

ЧАСТИНА 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ

8	АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	403
8.1	Застосування звичайних диференціальних рівнянь до моделювання технічних систем	403
8.1.1	Деякі відомості з теорії звичайних диференціальних рівнянь	403
8.1.2	Моделювання технічних систем диференціальними рівняннями	412

8.1.3	Математичні моделі технічних систем і процесів	418
8.1.4	Стійкість за Ляпуновим програмних рухів	430
8.1.5	Стабілізація програмних рухів	436
8.1.6	Врахування розподіленості параметрів системи	445
8.2	Диференціальні рівняння в частинних похідних для моделювання технічних систем	450
8.2.1	Рівняння параболічного типу і їх застосування до моделювання теплофізичних процесів в технічних системах	450
8.2.2	Рівняння гіперболічного типу і їх роль в моделюванні динамічних процесів	465
8.2.3	Рівняння еліптичного типу в застосуванні до моделювання стаціонарних процесів	487
	Ключові слова	498
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи.....	498
	Література	499
9	ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	501
9.1	Похибки та властивості обчислювальних методів та алгоритмів.....	502
9.2	Задачі лінійної алгебри	504
9.2.1	Розв'язання систем лінійних рівнянь	504
9.2.1.1	Прямі методи	505
9.2.1.2	Ітераційні методи	514
9.2.1.3	Загальні висновки щодо застосування методів розв'язання систем лінійних рівнянь	516
9.2.2	Визначення власних значень матриць	517
9.2.2.1	Методи обчислення власних значень	518
9.2.2.2	Порівняння методів визначення власних значень	523
9.3	Нелінійні задачі	525
9.3.1	Розв'язання нелінійних рівнянь	525
9.3.1.1	Метод половинного ділення	529
9.3.1.2	Метод хибного положення (хорд)	530
9.3.1.3	Метод Ньютона (дотичних)	532
9.3.1.4	Метод січних	534
9.3.1.5	Метод простої ітерації	535
9.3.1.6	Визначення комплексних коренів	537
9.3.2	Розв'язання систем нелінійних рівнянь	539
9.3.3	Загальні висновки щодо застосування методів розв'язання нелінійних задач	542
9.4	Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь	544

9.4.1	Методи розв'язання задачі Коші	544
9.4.1.1	Однокрокові методи	545
9.4.1.2	Багатокрокові методи	551
9.4.1.3	«Жорсткі» задачі	555
9.4.1.4	Загальні висновки щодо вибору методу розв'язання задачі Коші	555
9.4.2	Методи розв'язання крайових задач	556
9.4.2.1	Метод «стрілянини»	556
9.4.2.2	Різницеві методи	557
9.5	Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь в частинних похідних	560
9.5.1	Різницевий метод	562
9.5.2	Розв'язання окремих типів диференціальних рівнянь в частинних похідних	562
9.5.2.1	Еліптичні рівняння	566
9.5.2.2	Гіперболічні рівняння	568
9.5.2.3	Параболічні рівняння	569
9.5.3	Загальні рекомендації до розв'язання диференціальних рівнянь в частинних похідних	570
9.6	Чисельне інтегрування	572
9.6.1	Формули прямокутників	572
9.6.2	Формули Ньютона –Котеса	574
9.6.3	Формула Чебишева	577
9.6.4	Формула Гаусса	578
9.6.5	Алгоритми застосування чисельних методів	581
9.6.6	Метод Монте-Карло	583
9.7	Чисельне диференціювання	585
9.7.1	Чисельне диференціювання аналітично заданих функцій.....	585
9.7.2	Чисельне диференціювання таблично заданих функцій.....	586
	Ключові слова	588
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	588
	Література	594
10	ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	596
10.1	Постановка задачі імітаційного моделювання	597
10.2	Використання агрегатного принципу для імітаційного моделювання	598
10.3	Алгоритми генерування тестових послідовностей	602
10.3.1	Обробка результатів імітаційного моделювання	606
10.3.2	Оцінка необхідного обсягу тестів та трудомісткості імітаційного моделювання	606
10.3.3	Програмні пакети для імітаційного моделювання	608

Ключові слова	633
Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	633
Література	634
11 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ	636
11.1 Стандарти моделювання	636
11.2 Засоби архітектурного моделювання складних систем	639
11.2.1 Уніфікована мова системного моделювання UML	639
11.2.2 мова моделювання бізнес-процесів BPMN	646
11.3 Моделювання в середовищах математичних пакетів	651
11.3.1 Середовище MathCAD	652
11.3.2 Середовище MatLab	655
11.3.3 Інші математичні пакети	659
11.4 Можливості моделювання у системі Microsoft Office	664
11.4.1 Розрахункові та оптимізаційні задачі в системі Excel	664
11.4.2 Задачі моделювання в системі Access	665
11.5 Системи автоматизованого проектування	667
Ключові слова	673
Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	673
Література	673

ЧАСТИНА 4. ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ І ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ

12 МОДЕЛІ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛІННЯ	675
12.1 Модель як складова задачі оптимізації	675
12.1.1 Класифікація задач оптимізації	676
12.1.2 Багатокритеріальна оптимізація	681
12.1.3 Гладка оптимізація	684
12.1.4 Опукла оптимізація	690
12.1.5 Негладка оптимізація за методом координатного спуску (підйому)	692
12.1.6 Стохастична оптимізація	692
12.1.7 Лінійне програмування	698
12.1.8 Теорія ігор	701
12.1.9 Динамічне програмування	702
12.1.10 Варіаційні задачі	704
12.1.11 Алгоритми на графах	704
12.2 Використання моделі для оптимального прогнозування	710
12.2.1 Класифікація задач і методів прогнозування	710
12.2.2 Основи прогнозування даних	711
12.2.2.1 Часові ряди і стохастичні процеси	711

12.2.2.2	Експоненційне згладжування	714
12.2.2.3	Початкові умови експоненційного згладжування	718
12.2.2.4	Вибір постійної згладжування	720
12.2.2.5	Формування ансамблів моделей-предикторів	725
12.3	Модель як складова задачі оптимального оцінювання	728
12.4	Моделювання в задачах прийняття оптимальних рішень	730
12.5	Моделювання в задачах управління проектами	738
12.5.1	Багатокритеріальна нечітка оцінка якості проектів	738
12.5.2	Нечітке булеве програмування і рішення задачі вибору проекту	745
12.5.3	Модельний приклад	749
	Ключові слова	752
	Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	752
	Література	754
13	МОДЕЛІ ОКРЕМИХ КЛАСІВ СИСТЕМ	756
13.1	Моделі фізичних процесів в технологічних об'єктах	756
13.1.1	Фізичні процеси в об'єктах керування	756
13.1.2	Закони збереження як фундаментальні моделі фізичних процесів	756
13.1.3	Рівняння Максвелла	758
13.1.4	Рівняння Шредінгера	760
13.1.5	Рівняння дифузії і теплопровідності	762
13.1.6	Рівняння Кірхгофа	764
13.2	Моделі систем автоматики	765
13.3	Моделювання процесів у металургії	773
13.3.1	Прогнозування показників виробництва марганцевих феросплавів з використанням нечіткої експертної системи	774
13.3.2	Ідентифікація технологічного процесу виплавлення феросиліцію	778
13.3.3	Ідентифікація вихідних характеристик сталі з використанням нейронних мереж	785
13.4	Моделі обчислювальних систем	789
13.4.1	Види обчислювальних систем	789
13.4.2	Математичні моделі обчислень	791
13.4.3	Моделі промислових комп'ютерних мереж	794
13.5	Моделі розподілених систем	797
13.5.1	Види розподілених систем	797
13.5.2	Динамічні процеси в розподілених системах	797
13.5.3	Задача спостережності і керованості розподіленої	

системи	798
13.5.4 Синергетика і теорія катастроф	799
13.6 Моделі АСУ	802
13.7 Моделі інтелектуальних процесів	803
13.8 Моделі соціально-економічних процесів	805
13.8.1 Модель валового національного продукту	805
13.8.2 Класична модель економіки	806
13.8.3 Кейнсіанська модель	807
13.8.4 Модель демографічних процесів та розвитку популяцій	808
Ключові слова	813
Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи	813
Література	814