

С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук, О.І. Савенков

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

Довгий С.О., Бідюк П.І.,
Трофимчук О.М., Савенков О.І.

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Науково-навчальне видання

Київ
«Азимут-Україна»
2011

УДК 621.37-39
ББК 32.973.202.(4УКР)
М 31

Авторський колектив:
Довгий Станіслав Олексійович
Бідюк Петро Іванович
Трофимчук Олександр Миколайович
Савенков Олександр Іванович

Рецензенти:

*доктор фізико-математичних наук, професор Андрєєв Микола Варфоломійович
(Інститут прикладного системного аналізу НАН та Міносвіти і науки України);
доктор технічних наук, професор Яценко Віталій Олексійович
(Інститут космічних досліджень НАН України)*

Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І.
Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.

ISBN 978-966-1541-25-1

Пропонується докладне висвітлення сучасних методів математичного моделювання та прогнозування фінансово-економічних процесів, представлених часовими рядами. Розглянуто теорію стаціонарних і нестаціонарних процесів, методику моделювання процесів довільної структури, представлених рядами статистичних даних, а також методи знаходження повних розв'язків рівнянь авторегресії з ковзним середнім. Наведено методику застосування розв'язків дискретних рівнянь до асимптотичного аналізу поведінки процесів та обчислення оцінок коротко- і середньострокових прогнозів динаміки їх розвитку. Приділено чималу увагу аналізу нестаціонарних процесів із трендами та змінною в часі дисперсією (гетероскедастичні процеси). Окремий розділ присвячено оптимальному оцінюванню станів динамічних систем за допомогою фільтра Калмана з використанням дискретних моделей, представлених у просторі станів. Також розглянуто алгоритми чіткого та нечіткого методу групового врахування аргументів, який широко застосовується для побудови поліноміальних моделей та оцінювання прогнозів завдяки автоматичному оцінюванню структури моделі.

Розглянуто методи оцінювання параметрів математичних і статистичних моделей, наведено приклади застосування методів прогнозування до реальних фінансово-економічних процесів. Також запропоновано методику проектування і реалізації систем підтримки прийняття рішень – ефективного інструменту для розв'язання задач математичного моделювання і прогнозування на основі статистичних даних.

Рекомендується як навчальний посібник для студентів, аспірантів і викладачів, а також інженерів, які спеціалізуються в галузі розв'язання задач математичного моделювання та прогнозування динаміки фінансово-економічних та іншої природи процесів, представлених часовими рядами даних.

Рекомендовано до видання вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, протокол № 2 від 28 березня 2011 р.

ISBN 978-966-1541-25-1

© Кол. авторів, 2011
© Художнє оформлення
«Азимут-Україна», 2011

ЗМІСТ

Вступ		8
Розділ 1.	Мета моделювання, вимоги до даних і моделей.	13
1.1.	Мета побудови математичних моделей.	13
1.2.	Поняття структури математичної моделі	15
1.3.	Два основні підходи до побудови математичних моделей	18
1.4.	Узагальнений алгоритм побудови моделі	20
1.5.	Вимоги до експериментальних даних, оцінок параметрів та моделі.	22
1.5.1.	Вимоги до експериментальних даних.	22
1.5.2.	Вимоги до оцінок параметрів моделі.	24
1.5.3.	Вимоги до математичної моделі.	26
1.6.	Спрощена класифікація математичних моделей	28
1.7.	Деякі типи регресійних та різницевих рівнянь (PP).	30
	Запитання і вправи до розділу 1.	34
Розділ 2.	Аналіз стаціонарності процесів авторегресії з ковзним середнім.	36
2.1.	Слабка і сильна стаціонарність	36
2.2.	Необхідні та достатні умови стаціонарності процесу $AP(1)$	38
2.3.	Умови стаціонарності часткового розв'язку рівняння АРКС	41
2.4.	Узагальнення умов стаціонарності на процеси АРКС(p, q) довільного порядку	45
2.5.	Теоретична автокореляційна функція	49
2.6.	Обчислення кореляційних функцій за допомогою рівнянь Юла-Уокера	50
2.7.	Часткова автокореляційна функція.	56
	Запитання і вправи до розділу 2.	60
Розділ 3.	Застосування різницевих рівнянь до опису динаміки процесів	62
3.1.	Загальні відомості про різницеві рівняння	62
3.2.	Ітераційний метод знаходження розв'язків різницевих рівнянь	67
3.3.	Знаходження однорідних та часткових розв'язків.	74
3.3.1.	Розв'язування однорідних рівнянь	74
3.3.2.	Знаходження часткових розв'язків різницевих рівнянь	84
3.4.	Приклади знаходження повних розв'язків різницевих рівнянь	98
	Запитання і вправи до розділу 3.	108
Розділ 4.	Методика побудови математичних моделей часових рядів.	110
4.1.	Аналіз процесу	111
4.2.	Попередня обробка даних	112
4.3.	Аналіз наявності нелінійностей	120
4.4.	Формування інших елементів структури моделі	122
4.5.	Оцінювання параметрів моделей-кандидатів	129
4.6.	Діагностика моделей – вибір кращої з множини оцінених кандидатів.	132
4.7.	Приклади побудови математичних моделей за допомогою статистичних даних.	138
4.7.1.	Модель індексу споживчих цін	149
	Запитання і вправи до розділу 4.	152
Розділ 5.	Прогнозування динаміки процесів за допомогою різницевих рівнянь	152
5.1.	Для чого необхідні прогнози?	155
5.2.	Які складові процесу можна прогнозувати?	158
5.3.	Умовні та безумовні статистичні характеристики	161
5.4.	Прогнозування без знаходження розв'язку рівняння	164
5.5.	Побудова функцій прогнозування на основі розв'язку різницевого рівняння	169

5.6.	Прогнозування з мінімальною дисперсією	169
5.7.	Функції прогнозування, отримані в даному розділі	182
5.8.	Оцінювання якості прогнозу	183
5.9.	Довірчий інтервал для оцінок прогнозу	191
5.10.	Комбінювання оцінок прогнозів, отриманих різними методами.....	192
5.10.1.	Усереднювання прогнозів (вагові коефіцієнти однакові)	192
5.10.2.	Зважене комбінювання прогнозів	194
5.10.3.	Вибір вагових коефіцієнтів за допомогою похибок оцінок прогнозів....	194
	Запитання і вправи до розділу 5.	196
Розділ 6.	Застосування операторів зсуву при побудові прогнозуючих моделей	198
6.1.	Властивості операторів зсуву	198
6.2.	Приклади використання операторів зсуву	200
6.3.	Альтернативна форма характеристичного рівняння	206
6.4.	Знаходження розв'язку різницевого рівняння у «прямому» напрямі. ...	207
	Запитання і вправи до розділу 6.	209
Розділ 7.	Оптимальне оцінювання й прогнозування стану за допомогою фільтра Калмана.	210
7.1.	Принцип рекурсивного оцінювання	210
7.2.	Дискретний фільтр Калмана для вільної динамічної системи	212
7.3.	Дискретний фільтр Калмана для лінійної системи з детермінованими і стохастичними впливами	221
7.4.	Причини розбіжності та заходи щодо підвищення обчислювальної стійкості оптимального фільтра	225
7.5.	Приклади побудови оптимального фільтра	228
7.6.	Оцінювання неспостережуваних компонент вектора стану за допомогою оптимального фільтра	236
7.7.	Функція прогнозування на основі оптимального фільтра.	237
	Запитання і вправи до розділу 7.	243
Розділ 8.	Представлення математичних моделей у просторі станів.	245
8.1.	Вступ	245
8.2.	Перехід від лінійних неперервних до лінійних дискретних систем	250
8.3.	Дискретні рівняння типу АРКС у просторі станів	252
8.4.	Приклади представлення моделей у просторі станів	261
	Запитання і вправи до розділу 8.	268
Розділ 9.	Моделювання і прогнозування розвитку процесу трансформування власності.	270
9.1.	Аналіз процесу приватизації як об'єкта керування	270
9.2.	Побудова математичної моделі процесу приватизації	274
9.3.	Постановка оптимізаційної задачі	280
9.4.	Результати моделювання алгоритму оцінювання оптимальних строків приватизації	290
9.5.	Аналіз соціальних переваг приватизованих підприємств	294
Розділ 10.	Моделювання та прогнозування сезонних ефектів.	299
10.1.	Особливості перебігу фінансово-економічних процесів	299
10.2.	Моделювання процесів із сезонними ефектами	305
	Запитання і вправи до розділу 10.	308
Розділ 11.	Прогнозування гетероскедастичних процесів.	310
11.1.	Загальні відомості про гетероскедастичні процеси	310
11.2.	Узагальнений авторегресійний умовно гетероскедастичний (УАРУГ) процес	318

11.3.	Деякі інші моделі гетероскедастичних процесів	322
11.4.	Врахування великих імпульсних значень у моделях ГСП	324
11.5.	Приклади побудови математичних моделей гетероскедастичних процесів	330
11.6.	Оцінювання стохастичної моделі волатильності	338
	Запитання і вправи до розділу 11.	349
Розділ 12.	Метод групового врахування аргументів.	351
12.1.	Вступ	351
12.2.	Загальний опис МГВА	352
12.2.1.	Можливості застосування МГВА.	352
12.2.2.	Особливості методу.	353
12.2.3.	Алгоритми МГВА та «МГВА-подібні» алгоритми.	354
12.2.4.	Спектр алгоритмів МГВА.	355
12.3.	Метод групового врахування аргументів	358
12.3.1.	Основні принципи і загальна схема методу.	358
12.3.2.	Алгоритм самоорганізації МГВА і його застосування в задачах прогнозування.	363
12.3.3.	Багаторядні поліноміальні алгоритми МГВА.	364
12.3.4.	Опис алгоритму.	366
12.4.	Нечіткий метод групового врахування аргументів	367
12.4.1.	Принципи самоорганізації методу групового врахування аргументів.	367
12.4.2.	Побудова часткової моделі НМГВА.	369
12.4.3.	Опис ряду селекції.	372
12.4.4.	Загальна схема алгоритму НМГВА.	372
12.5.	Приклади застосування методу групового врахування аргументів	373
	Запитання і вправи до розділу 12.	375
Розділ 13.	Прогнозування коінтегрованих процесів.	376
13.1.	Задача моделювання нестационарних коінтегрованих процесів	376
13.2.	Моделі коінтеграції	383
13.2.1.	Коінтеграція і тренди.	383
13.2.2.	Коінтеграція і корегування похибок.	386
13.3.	Методика побудови моделі коінтегрованих процесів	395
	Запитання і вправи до розділу 13.	404
Розділ 14.	Приклади прогнозування фінансових процесів.	406
14.1.	Прогнозування котирування золота на біржі	406
14.2.	Прогнозування випадкових трендів фінансових процесів	419
14.3.	Прогнозування надходжень податку на прибуток	439
14.3.1.	Вихідні дані для побудови моделей прогнозування.	439
14.3.2.	Результати прогнозування податку на прибуток підприємств за допомогою структурної економічної моделі.	440
14.3.3.	Прогнозування податку на прибуток підприємств на основі радіально-базисної нейронної мережі.	444
14.4.	Прогнозування курсів валют	456
Розділ 15.	Методи оцінювання параметрів математичних і статистичних моделей. ..	469
15.1.	Вступ	469
15.2.	Звичайний метод найменших квадратів	470
15.3.	Властивості матриць P та $I_N - P$	475
15.4.	Властивості оцінок, отриманих за МНК	476
15.5.	Рекурсивний метод найменших квадратів	477
15.6.	Лема про обернення матриць.	484

15.7.	Початкові умови для РМНК	485
15.8.	Асимптотичні властивості оцінок РМНК	486
15.9.	Рекурсивне оцінювання параметрів за методом мінімізації похибки прогнозу.	488
15.10.	Метод інструментальної (допоміжної) змінної	497
15.11.	Основи нелінійного МНК.	499
15.12.	Формування ймовірнісного висновку за методом Монте-Карло для марковських ланцюгів.	504
	Запитання і вправи до розділу 15.	528
Розділ 16.	Побудова СППР для моделювання і прогнозування фінансово-економічних процесів.	530
16.1.	Основні етапи побудови систем підтримки прийняття рішень	530
16.1.1.	Аналіз процесу прийняття рішення.	530
16.1.2.	Стратегії прийняття рішення.	530
16.1.3.	Етапи проектування СППР.	535
16.2.	Застосування моделей і даних в СППР	548
16.2.1.	Вибір моделей і критеріїв для СППР	548
16.2.2.	Вибір моделі для оцінювання наслідків прийняття рішень з використанням СППР	549
16.2.3.	Вибір інструментарію для інформаційного менеджменту	552
16.3.	Проектування архітектури СППР	554
16.3.1.	Основні підходи до проектування СППР.	554
16.3.2.	Типи архітектур спеціалізованих СППР.	559
16.3.3.	Функції системи обробки даних та генерації результатів.	568
16.3.4.	Вибір та опис алгоритмів, на яких ґрунтується СОДГР.	569
16.3.5.	Дані та знання, які можуть використовуватись в СППР.	570
16.3.6.	Функції системи представлення результатів, форми представлення.	575
16.3.7.	Використання кольорів, мигання і клавіатури.	576
16.4.	Проектування інтерфейсу користувача	577
16.4.1.	Характеристики інтерфейсу користувача та принципи його формування.	577
16.4.2.	Проектування інтерфейсу на принципах людського фактору.	583
16.4.3.	Тональність діалогу та термінологія.	587
16.4.4.	Формулювання вимог користувача до СППР	589
16.4.5.	Функціональні вимоги до системи.	589
16.5.	Приклад побудови СППР при прогнозуванні динаміки процесів.	590
	Основна література.	600
	Додаткова література	604