

**ПРОГНОЗУВАННЯ  
СОЦІАЛЬНО-  
ЕКОНОМІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ:  
СУЧАСНІ ПІДХОДИ  
ТА ПЕРСПЕКТИВИ**



**Монографія**



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА

АЗОВСЬКИЙ РЕГІОНАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ УПРАВЛІННЯ  
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ДУ «ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ І ПРОГНОЗУВАННЯ НАН УКРАЇНИ»

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ В. ГЕТЬМАНА

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.Н.  
КАРАЗІНА

**ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-  
ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ:  
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

Монографія

Бердянськ - 2011



УДК 330.46  
ББК 65в641  
С56

Рекомендовано вченою радою економічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
(протокол №10 від 10 травня 2011 р.)

Рекомендовано вченою радою Азовського регіонального інституту управління Запорізького національного технічного університету  
(протокол №7 від 17 травня 2011 р.)

Рецензенти: Геєць В.М. - академік НАН України, доктор економічних наук, професор, директор ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України";  
Лисенко Ю.Г. - член-кореспондент НАН України, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики Донецького національного університету

**С56** Прогнозування соціально-економічних процесів: сучасні підходи та перспективи: Монографія / Під ред. О.І. Черняка, П.В. Захарченко. – Бердянськ: Видавець Ткачук О.В., 2011. – 436 с. Англ. яз., рус. яз., укр. мова.  
ISBN 978-966-2261-30-1

У монографії розглядається сучасна теорія і практичні методи прогнозування, а також перспективні напрями досліджень. Обґрунтовується системна методологічна концепція і конструктивні принципи ведення прогнозних досліджень, а також математичний апарат прогнозування діяльності соціально-економічних систем, метою яких є істотне підвищення економічної ефективності таких систем. Розкриті особливості побудови прогнозів на прикладі соціально-економічних об'єктів і процесів різноманітних рівнів ієрархії. Окремо приділено увагу питанням економічного прогнозування та управління курортними рекреаціями і туризмом в регіонах.

Для фахівців в області моделювання, прогнозування, та управління складними соціально-економічними системами, а також викладачів, аспірантів і студентів економічних спеціальностей.

УДК 330.46  
ББК 65в641

© Колектив авторів, 2011  
© Видавець Ткачук О.В., 2011

ISBN 978-966-2261-30-1



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. МІКРОЕКОНОМІЧНЕ ТА МАКРОЕКОНОМІЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ .....	9
1.1. <i>В.В. Вітлінський, Ю.В. Коляда, В.О. Тукало, О.В. Квашук.</i> Аспекти математичного моделювання нелінійної соціально- економічної динаміки на підґрунті моделі Вольтерра-Лотки ...	9
1.2. <i>В.В. Вітлінський, О.В. Піскунова.</i> Прогнозування динаміки основних показників функціонування малого підприємства з урахуванням композиційної невизначеності .....	31
1.3. <i>В.Я. Заруба, М.И. Ходак.</i> Функции прогнозирования в иерархической системе управления электроснабжающего предприятия .....	47
1.4. <i>Т.С. Клебанова, Л.С. Гурьянова.</i> Методологические аспекты комплексной системы прогнозирования социально- экономического развития региона .....	58
1.5. <i>О.І. Ляшенко.</i> Дворівневе агрегування моделі Леонтєва «витрати-випуск» .....	68
1.6. <i>Maria Piotrowska.</i> The simulation of local governance improvement in Poland? .....	77
1.7. <i>В.М. Порохня, І.С. Ладунка.</i> Прогнозування розвитку підприємства на основі вдосконалення системи управління потенціалом управлінського персоналу .....	90
1.8. <i>В.М. Порохня, О.Г. Полиннікова.</i> Методичний підхід щодо оцінювання вартості ринкової складової інтелектуального капіталу підприємства .....	98
1.9. <i>М.І. Скрипниченко.</i> Моделювання та середньострокове прогнозування розвитку економіки України .....	112
1.10. <i>А.В. Скрипник, Т.Ю. Зінчук.</i> Порівняльний аналіз ризиків світового та внутрішнього ринків пшениці .....	130
1.11. <i>В.М. Соловійов, В.М. Сапцін, Д.М. Чабаненко.</i> Прогнозування фінансово-економічних часових рядів з застосуванням ланцюгів Маркова та Фур'є-продовження .....	141
1.12. <i>О.І. Черняк, О.В. Комашко.</i> Вплив Саймона Кузнеця на розвиток економетрики .....	155
1.13. <i>О. Chernyak, Y. Chernyak.</i> An influence of governmental regulation of labor force migration on Ukrainian economy .....	164
1.14. <i>Н.К. Максишко.</i> Гібридна прогнозна модель на базі інструментарію дискретної нелінійної динаміки .....	170
1.15. <i>Н.К. Максишко, С.С. Чеверда.</i> Прогнозування світових цін на нафту на базі моделі однорідної структури та гібридного підходу .....	189



1.16. <i>В.В. Корольков.</i> Продуктивність праці як інтегрований фактор розвитку економічних систем, заснованих на знаннях ...	198
1.17. <i>Т.В. Кравець.</i> Прогнозування фіскальних ефектів при реформуванні системи оподаткування .....	210
1.18. <i>М.Ю. Куссий.</i> Соціальна психологія як основа для прогнозування динаміки ринкової ціни .....	224
1.19. <i>А.В. Сігал.</i> Циклічність розвитку економічних систем і прогнозування системних криз економіки .....	236
1.20. <i>Н.В. Слушаєнко.</i> Експертне оцінювання в задачах передбачення для інноваційних та інвестиційних об'єктів .....	251
1.21. <i>Н.В. Геселева.</i> Економетричні підходи до моделювання інноваційної діяльності .....	262
1.22. <i>С.С. Шумська.</i> Вивіз капіталу з України: структура відтоку та кількісні оцінки .....	276
<b>РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОГНОЗУВАННІ ЕКОНОМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b> .....	290
2.1. <i>Т.В. Меркулова, К.Ю. Кононова.</i> Формування інформаційного суспільства: статистичні профілі та стадії розвитку .....	290
2.2. <i>В.М. Порохня, О.В. Рубінчик.</i> Оцінка вкладу інтелектуального капіталу в створенні цінності компанії .....	306
2.3. <i>О.І. Черняк, Г.О. Чорноус, János Sztrik.</i> Концепція моделювання проактивного механізму прийняття управлінських рішень на базі інструментарію інтелектуального аналізу даних .....	316
2.4. <i>Г.Я. Левків, Г.З. Леськів, В.М. Барило.</i> Інформаційні потоки як елемент підприємства .....	335
2.5. <i>Н.К. Максишко, Я.В. Глазова.</i> Метод вибору пілотного підрозділу у системі підтримки прийняття рішень, при плануванні процедури міграції програмного забезпечення в органах місцевого самоврядування .....	345
<b>РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ КУРОРТНИМИ РЕКРЕАЦІЯМИ І ТУРИЗМОМ В РЕГІОНАХ</b> .....	360
3.1. <i>П.В. Захарченко.</i> Концепція моделювання конкурентного ринку курортно-рекреаційних продуктів .....	360
3.2. <i>Г.В. Казачковська.</i> Визначення індикаторів для моніторингу курортних територій .....	375
3.3. <i>С.Ф. Кучер.</i> Проблеми і перспективи еволюції методології економічного районування .....	386
3.4. <i>Н.П. Кіркова, О.В. Мараховський, Д.П. Ядров.</i> Моделювання залежності рівня інвестицій в Україну від макроекономічних показників .....	396



3.5. А.В. Несторенко. Моделирование процессов складской логистики .....	408
3.6. П.В. Гудзь, І.С. Хуторянська. Від вага пільг платникам податків в контексті недоотримання платежів регіонального бюджету .....	421



## 1.11. Прогнозування фінансово-економічних часових рядів з застосуванням ланцюгів Маркова та Фур'є-продовження

Соловйов В.М., д.ф-м.н., професор,

зав. кафедри економічної кібернетики

Сапцін В.М., к.ф-м.н., доцент

Чабаненко Д.М.

Черкаський національний університет ім. Богдана Хмельницького,  
Україна, м. Черкаси.

Успішне моделювання та прогнозування процесів, які протікають у таких складних системах, як соціально-економічні, і дотепер залишається однією з найактуальніших і до кінця не розв'язаних проблем, що відносяться до цілого комплексу наук про природу, людину і суспільство [1, 2].

Різноманіття підходів до побудови моделей таких систем, а також часто більш ніж скромні успіхи в прогнозуванні їх динаміки, вимушують шукати причини невдач не тільки в частковостях, але і в аксіоматиці, що стосується постановки задачі, використовуваних засобів моделювання, інтерпретації його результатів, зв'язків з іншими науковими напрямками.

З виникненням на початку минулого сторіччя квантової механіки і теорії відносності були сформульовані і затвердилися нові філософські погляди на поняття фізичної величини, процедури вимірювання і стану системи, що в основі відрізняються від ньютонівських уявлень [3, 4].

Більше 70-ти років йдуть дискусії щодо концепцій, на яких засновані класичні та неокласичні економічні теорії, та з'являються нові підходи [5].



З середини минулого сторіччя одержала визнання загальна теорія систем і почав в явному вигляді формуватися новий, системний, емерджентний та квантовий за своєю суттю підхід до дослідження складних об'єктів, в рамках якого фактично постулюється обмеженість будь-якого моделювання, що спирається тільки на фіксовану і замкнуту систему аксіом [6].

Проте опанування нової філософської бази в моделюванні соціально-економічні систем і до теперішнього часу відбувається зі складнощами, а нові принципи часто лише декларуються.

Дана робота присвячена дослідженню і застосуванню нових технологій моделювання і прогнозування, запропонованих в [7, 8], в основі яких лежать концепції детермінованого хаосу, складних ланцюгів Маркова та нові інтерпретації ідей Фур'є перетворення.

Прогнозування фінансово-економічних часових рядів є надзвичайно актуальною задачею. Сучасні підходи до даної задачі можна охарактеризувати наступними напрямками: 1) апроксимація часового ряду аналітичною функцією та екстраполяція знайденої функції – так звані трендові моделі [9]; 2) дослідження впливу усіх можливих факторів на показник, який прогнозується та побудова економетричних, або більш складних моделей за допомогою методу групового урахування аргументів (МГУА) [10]; 3) моделювання майбутніх цін як результатів прийняття рішень за допомогою нейронних мереж, генетичних алгоритмів, нечітких множин [10-11]. На жаль, дані методики не демонструють стабільних прогнозів, що може бути пояснене складністю систем, динаміка яких прогнозується, постійною зміною їх структури. Ми намагаємось поєднати ці напрями в одному алгоритмі, але надаємо перевагу останньому, який полягає у побудові моделі, адекватної процесу, що породжує часовий ряд ціни [12]. Саме такий підхід дає можливість наблизитись до складності системи, яка



генерує досліджуваний ряд, побудувати її модель та використовувати властивості моделі у якості прогнозу.

Нехай ряд заданий послідовністю дискретних рівнів зі сталим кроком дискретизації часу  $\Delta t$ . Необхідно побудувати варіанти продовження ряду (сценарії прогнозу), використовуючи залежності, виявлені за допомогою складних ланцюгів Маркова та дискретного Фур'є-продовження.

Особливістю соціально-економічних систем, крім складності, є наявність пам'яті, у тому числі і довготривалої, а також нелінійний і нестійкий характер взаємодії елементів і компонент, що ускладнює їх прогнозування.

На жаль, математичні моделі, засновані на диференціальних рівняннях, фактично не мають пам'яті (немає післядії), а в моделях з пам'яттю, в яких використовуються інтегральні співвідношення, не кожна нелінійність може бути врахована (операція інтегрування лінійна за визначенням).

Дійсно, в задачі Коші майбутня поведінка системи визначається її початковим станом і не залежить від того, яким чином система прийшла до цього стану. Проте навряд чи відповідає дійсності припущення про те, що всю майбутню поведінку реальної соціально-економічної системи можна передбачити, задавши миттєвий часовий «зріз» якого б то не було набору змінних її стану.

Розглянемо можливі підходи до врахування минулого в моделюванні динаміки складних систем, що виходять за рамки, які задаються класичними диференціальними та інтегральними рівняннями.

Простим прикладом динамічної моделі з пам'яттю, в якій наявний стан, тобто значення функції  $x(t)$ , залежить від минулого її стану



$x(t-\tau)$  з постійним часовим лагом  $\tau = \text{const}$ , є функціонально-різницеве рівняння із запізнюванням вигляду:

$$x(t) = f(x(t-\tau)); \quad t \geq t_0, \quad (1)$$

де  $f(x)$  – відома функція, з початковими умовами, заданими в напівінтервалі  $t_0 - \tau \leq t < t_0$  функцією  $\varphi(t)$ :

$$x(t) = \varphi(t); \quad t_0 - \tau \leq t < t_0. \quad (2)$$

За умови (2) рівняння (1) має єдине рішення, визначуване рекурентними співвідношеннями:

$$x(t) = \begin{cases} f(\varphi(t-\tau)); & t_0 \leq t < t+\tau; \\ f(f(\varphi(t-\tau))); & t_0 + \tau \leq t < t+2\tau; \\ f(f(f(\varphi(t-\tau)))); & t_0 + 2\tau \leq t < t+3\tau; \\ \dots & \dots \end{cases} \quad (3)$$

Якщо використовувати дельта-функцію Дирака, з властивостями:

$$\delta(t) = 0, \text{ if } x \neq 0; \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1, \quad (4)$$

то рівняння (1) можна формально записати і в інтегральній формі:

$$x(t) = \int_{-\infty}^t dt_1 f(x(t_1)) H(t_1, t); \quad H(t_1, t) \equiv \delta(t_1 - (t - \tau)); \quad t \geq t_0. \quad (5)$$

Дельта-функція не є функцією в звичайному розумінні і відноситься до класу узагальнених функцій, математична теорія яких була розвинена тільки у середині минулого сторіччя (фізиками ця функція почала використовуватися набагато раніше).

Наближений класичний інтегральний аналог рівняння (5) можна одержати, якщо замінити  $\delta(t)$  звичайною функцією - яким-небудь конкретним достатньо вузьким «піком» одиничної площі з кінцевою характерною шириною  $\sim \Delta t$  і з кінцевою висотою  $\sim 1/\Delta t$ . Одним з прикладів такої функції є похідна від функції Фермі  $\Phi(t)$ :



$$\Phi(t) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{-t}{\theta}\right)}; \quad \delta(t) \approx \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{\theta \left(2 + \exp\left(\frac{-t}{\theta}\right) + \exp\left(\frac{t}{\theta}\right)\right)}. \quad (6)$$

Якщо стан системи у момент часу  $t$ ,  $x(t)$ , визначається не одним, як в (1), а  $k$  ( $k=2,3,4,\dots$ ) її минулими станами  $x(t-\tau_1)$ ,  $x(t-\tau_2), \dots, x(t-\tau_k)$  в моменти часу  $(t-\tau_1)$ ,  $(t-\tau_2), \dots, (t-\tau_k)$  відповідно ( $\tau_1 = const, \tau_2 = const, \dots, \tau_k = const, \tau_1 > \tau_2 > \dots > \tau_k > 0$ ), то замість (1), (2), (5) одержуємо:

$$x(t) = f(x(t-\tau_1); x(t-\tau_2); \dots, x(t-\tau_k)); \quad t \geq t_0; \quad (7)$$

$$x(t) = \varphi(t); \quad t_0 - \tau_1 \leq t < t_0; \quad (8)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^t dt_1 \int_{-\infty}^t dt_2 \dots \int_{-\infty}^t dt_k f(x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_k)).$$

$$\cdot \delta(t_1 - (t - \tau_1)) \delta(t_2 - (t - \tau_2)) \dots \delta(t_k - (t - \tau_k)); \quad t \geq t_0. \quad (9)$$

Таким чином, якщо стан системи у момент часу  $t$  залежить від нескінченного ряду її станів у минулому, то інтегральний аналог функціонально-різницевого рівняння із запізнюванням буде, взагалі кажучи, містити інтеграл нескінченної кратності. При цьому нескінченне число станів у минулому в принципі може відноситися як до скінченного  $(t-\tau_1; t)$  («коротка» пам'ять), так і до нескінченного  $(-\infty; t)$  («довга» пам'ять) проміжку часу.

Звернемо увагу на те, що класичне інтегральне рівняння із запізнюванням Вольтерівського типу:

$$x(t) = \int_{-\infty}^t F(x(\tilde{t}); t; \tilde{t}) d\tilde{t}, \quad (10)$$

де  $F(x, t, \tilde{t})$  - довільна задана (взагалі нелінійна) функція змінних  $x, t, \tilde{t}$ , дозволяє врахувати пам'ять системи про її минулі стани лише в



адитивному наближенні, що стає очевидним, якщо записати праву частину (10) у вигляді:

$$\int_{-\infty}^t F(x(\tilde{t}); t; \tilde{t}) d\tilde{t} \equiv \int_{t_1}^t F(x(\tilde{t}); t; \tilde{t}) d\tilde{t} + \int_{t_2}^{t_1} F(x(\tilde{t}); t; \tilde{t}) d\tilde{t} + \dots =$$

$$= F(x(\tilde{t}_1); t; \tilde{t}_1) \cdot (t - t_1) + F(x(\tilde{t}_2); t; \tilde{t}_2) \cdot (t_1 - t_2) + \dots;$$

$$t > t_1 > t_2 > \dots; \tilde{t}_1 \in [t_1, t]; \tilde{t}_2 \in [t_2, t_1]; \dots \quad (11)$$

У зв'язку з цим відзначимо, що і рівняння типу (9) при адитивній залежності наявного стану від минулого, тобто у випадку:

$$f(x(t - \tau_1); x(t - \tau_2); \dots) \equiv f_1(x(t - \tau_1)) + f_2(x(t - \tau_2)) + \dots, \quad (12)$$

стає окремим випадком рівняння (10) з підінтегральною функцією:

$$F(x(\tilde{t}); t; \tilde{t}) \equiv f_1(x(\tilde{t})) \delta(\tilde{t} - (t - \tau_1)) + f_2(x(\tilde{t})) \delta(\tilde{t} - (t - \tau_2)) + \dots \quad (13)$$

Змістовний аналіз динаміки нелінійних моделей з пам'яттю, в яких майбутнє визначається нескінченним числом станів у минулому, в загальному випадку можливий тільки в дискретному уявленні, причому результати такого аналізу будуть принципово наближеними, тобто містити невизначеність, яку слід вважати ендогенною, тобто внутрішньою, яка властива даній системі.

При відповідній дискретизації часу модель з пам'яттю як типу (7), так і (10) набуває вигляду:

$$x(n+1) = f(x(n); x(n-1); x(n-2) \dots). \quad (14)$$

Для врахування і кількісного опису невизначеностей, які спостерігаються в складних системах, звичайно використовують імовірнісні моделі. Проте їх застосування будується на гіпотезах, обґрунтованість яких сумнівна, при цьому статистична інтерпретація результатів не завжди достатньо інформативна, а результати не відповідають процесам, що реально відбуваються в системі. Зокрема, відома проблема  $1/f$ -шуму, тісно пов'язаного з наявністю у складних



систем «довгої» пам'яті, з погляду статистики означає відсутність середнього значення за часом як границі при прямуванні довжини часового проміжку, на якому проводиться усереднювання, до нескінченності, для будь-яких процесів, що відбуваються в таких системах. Таким чином, строгого статистичного обґрунтування подібні процеси мати не можуть.

Нові підходи до моделювання і прогнозування динаміки складних нелінійних систем з пам'яттю засновані на застосуванні технологій детермінованого хаосу і нейронних мереж (див., наприклад, [11]). Їх дослідження і реалізація стали можливими тільки з появою швидкодіючих ЕОМ. Загальним для цих технологій є використання рекурентного обчислювального процесу:

$$x_{n+1} = f_n \left( f_{n-1} \left( \dots \left( f_1(x_1) \dots \right) \right) \right), \quad n = 1, 2, \dots, \quad (15)$$

де  $f_i(x_i)$  - деяке нелінійне відображення багатовимірного вектора  $x_i$ ,  $i$  - дискретний, реальний або фіктивний, час. Ідентифікація моделі (15) зводиться до визначення функцій  $f_i(x_i)$ , а відмінності між моделями детермінованого хаосу і нейронних мереж пов'язані з виглядом і методами визначення цих функцій (у моделях нейронних мереж звичайно використовується достатньо вузький клас відображень  $f_i(x_i)$  [11]). Стійкість або збіжність процесу (15), взагалі кажучи, не передбачається, а інтерес може мати як одномоментний набір компонент вектора  $x_i$ , так і динаміка їх зміни в часі.

До окремого випадку моделі (15), при введенні відповідних лагових змінних, може бути зведена і модель (14).

І детерміновані стійкі процеси, що описуються інтегро-диференціальними рівняннями, і випадкові процеси, до яких відносяться і складні ланцюги Маркова (СЛМ), формально можна розглядати як окремі граничні випадки реалізації моделей детермінованого хаосу типу



(15). При масштабі дискретизації, який прямує до нуля, якщо відповідні границі існують, одержуємо класичні диференціальні і інтегральні постановки задачі. При скінченних  $\Delta t$  одержуємо моделі з дискретним часом, які в загальному випадку можуть породжувати у відповідному фазовому просторі (що включає і лагові змінні) як вимірні (дискретні або безперервні) множини, що допускають імовірнісну інтерпретацію, так і множини з особливою структурою - фрактали, для яких така інтерпретація не завжди можлива.

Прикладом моделей детермінованого хаосу, що допускають імовірнісну інтерпретацію, є різноманітні цифрові генератори так званих псевдовипадкових послідовностей, що використовуються в імітаційному моделюванні.

Відзначимо, що насправді не існує точних процедур, які дозволили б відрізнити «дійсну» випадкову послідовність від псевдовипадкової.

Припустимо існує послідовність дискретних станів певної системи. З цієї послідовності можна визначити ймовірності переходу з одного стану в інший. Складним ланцюгом Маркова називають випадковий процес, в якому ймовірність наступного стану залежать не лише від наявного стану, а від послідовності декількох попередніх станів (передісторії). Кількість станів у передісторії є порядком ланцюга Маркова.

Ланцюг Маркова порядку вище 1-го можна звести до простого ланцюга Маркова за допомогою введення поняття „узагальнений стан”, включаючи в нього ряд послідовних станів системи. В цьому випадку апарат простих ланцюгів Маркова може бути застосований до складних.

Динамічні ряди фінансових ринків породжуються діяльністю складних фінансово-економічних систем. Припускається, процес, що породжує ряд, має детерміновану складову, що означає існування причинно-наслідкової залежності наступних станів від передісторії.



Досліджуваний процес описується у вигляді часового ряду ціни  $p(t)$  із заданим проміжком дискретизації  $\Delta t$

$$p_{t_i} = p(t_0 + i \cdot \Delta t). \quad (16)$$

Ряд вихідних значень необхідно перетворити у ряд дискретних станів. Позначимо кількість вибраних станів  $s$ , кожен з яких пов'язаний зі зміною величини вихідного сигналу (прибутковістю). Наприклад, класифікація з двома станами, перший з яких відповідає додатній прибутковості при зростанні ціни, а другий – від'ємній при її спаданні. В загальному вигляді всі можливі прирости вихідного ряду класифікуємо на  $s$  груп. Способи розбиття розглянуті у роботах [12].

Далі здійснюється прогнозування ряду дискретизованих станів. Для заданого порядку ланцюга Маркова та останнього узагальненого стану в якості наступного вибирається найбільш ймовірний стан. У випадках неоднозначності при визначенні стану з максимальною ймовірністю застосовується алгоритм, який дозволяє зменшити кількість можливих сценаріїв прогнозу. Таким чином, маємо ряд прогнозованих станів, які для відомого останнього значення ряду можуть бути перетворені на дискретизований ряд прогнозних значень.

Обчислення приростів, прогнозування та послідує відновлення здійснюється здійснити для заданої ієрархії приростів часу  $\Delta t$ . Для ефективного використання інформації, представленій у наявному часовому ряду, прогнозування здійснюється для приростів часу  $\Delta t = 1, 2, 4, 8, \dots$ , або більш складної ієрархії приростів та послідовного „склеювання” результатів отриманих на різних дискретизаціях прогнозів.

Процедура прогнозування та склеювання є ітераційною та проводиться, починаючи з менших приростів, додаючи на кожному кроці прогноз з більшим приростом часу.



При збільшенні кроку дискретизації часу  $\Delta t$  зменшується статистика для визначення параметрів ланцюгу Маркова, тому найбільший крок дискретизації, який приймає участь у прогнозуванні обмежується. Для доповнення прогнозу низькочастотною складовою використовується наближення нульового порядку у вигляді лінійного тренду, або комбінації лінійного тренду та гармонійних коливань [8].

Розглянемо послідовність операцій, які необхідні для побудови прогнозного ряду. Для цього необхідно задати наступні параметри:

1) Вид ієрархії приростів часу (проста – степені двійки, складна – добуток степенів перших простих чисел)

2) Величини  $s$  – кількість станів та  $r$  – порядок ланцюга Маркова. Дані параметри можуть бути індивідуальними для кожного рівня дискретизації, знаходження оптимальних параметрів здійснюється експериментально.

Алгоритм побудови прогнозу включає наступні кроки:

1) Генерація ієрархії приростів часу – послідовності  $\Delta t$ , максимальний з яких повинен відповідати довжині прогнозного проміжку  $N_1$ .

2) Для кожного приросту часу  $\Delta t$  зі зростанням приростів, здійснюється прогнозування станів та відновлення ряду за прогнозними станами. Даний етап включає наступні дії:

2.1. Обчислення приростів (прибутковостей) ряду з дискретизацією  $\Delta t$ .

2.2. Перетворення ряду приростів у ряд номерів станів (1..s).

2.3. Обчислення ймовірностей переходів для узагальнених станів.

2.4. Побудова ряду прогнозних станів, застосовуючи процедуру визначення найбільш ймовірного наступного стану.

2.5. Відновлення ряду значень з ряду станів з дискретизацією  $\Delta t$ .

2.6. Склеювання прогнозу з дискретизацією  $\Delta t$  з рядом, який отримався в результаті склеювання попередніх шарів (з меншим кроком  $\Delta t$ ). Якщо



даний ряд є першим, в якості результату склеювання повертається ряд без змін.

3) Останній склесний ряд склеїти з продовженням лінійного тренду, побудованого по усім попередньо відомим точкам.

Ряд, склесний з лінійним трендом, є результатом прогнозування.

В даному розділі представлені результати прогнозування фондових ринків. Наведено тільки останні 2000 точок навчальної вибірки. Точкою 2000 позначено момент початку прогнозів: 24 березня 2011 року.

Вище нами розглянуто підхід до прогнозування часових рядів методом складних ланцюгів Маркова. Апробація показала, що прогнозування динамічних рядів за цією методикою дає непогані результати для рядів із високою регулярністю, повторюваністю значень для короткострокових прогнозів. Але при довгостроковому прогнозуванні слід більш ефективно враховувати низькочастотні коливання у вихідному ряді.

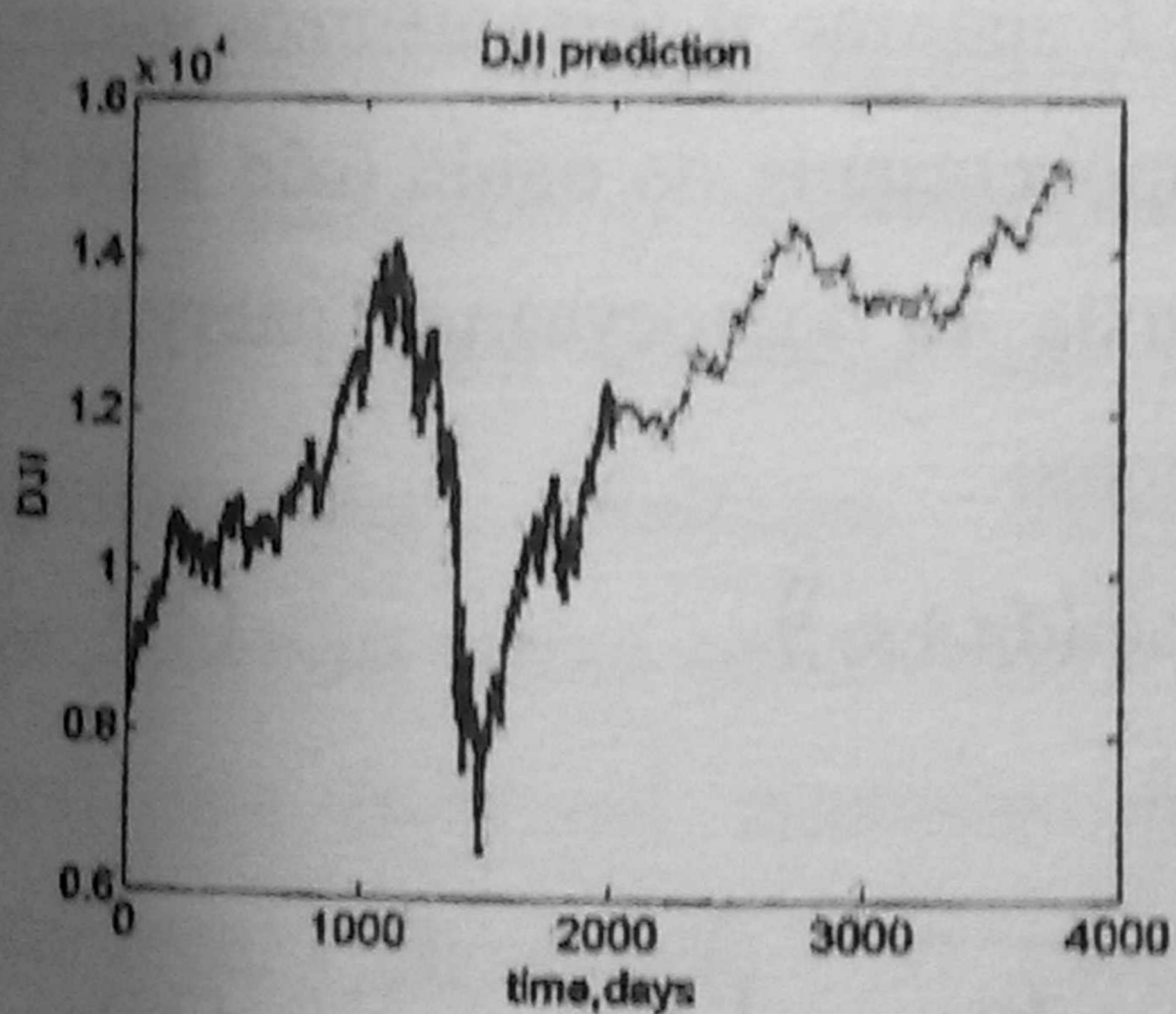


Рис. 1.

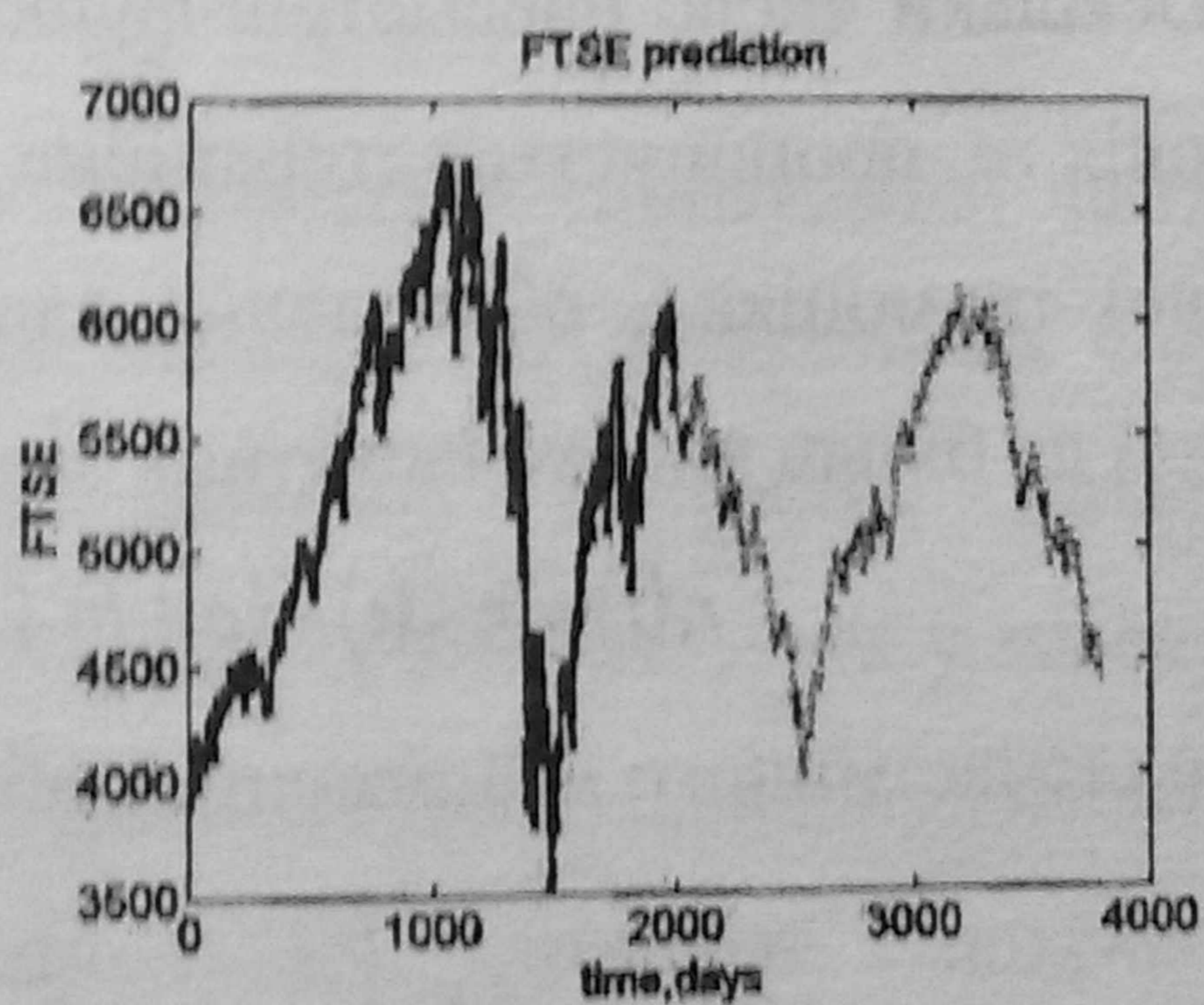


Рис. 2.

Прогнозування індексів Dow Jones Industrial (США, рис. 1) FTSE (Великобританія, рис. 2).

Для подолання цієї проблеми вищезазначена модель була вдосконалена введенням апроксимуючої функції [8] виду



$$y_{abs}(t) = a + bt + \sum_{i=1}^m c_i \sin(d_i t + e_i), \quad (17)$$

або для відносного масштабу:

$$y_{rel}(t) = ae^{bt} \prod_{i=1}^m c_i \sin(d_i t + e_i). \quad (18)$$

Параметри моделі  $a, b, c_1, c_2, \dots, c_m, d_1, \dots, d_m, e_1, \dots, e_m$  мають бути мінімізовані відносно наступного критерію оптимальності:

$$F(a, b, c_1, \dots, c_m, d_1, \dots, d_m, e_1, \dots, e_m) = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{lim}(t_0 + i\Delta t))^2, \quad (19)$$

або для відносного варіанту:

$$F(a, b, c_1, \dots, c_m, d_1, \dots, d_m, e_1, \dots, e_m) = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{y_i}{y_{lim}(t_0 + i\Delta t)} \right)^2. \quad (20)$$

При розв'язуванні задач оптимізації необхідно задати початкові оцінки параметрів, які оптимізуються, а також накласти обмеження на їх значення.

Оскільки число параметрів функції  $F$  зростає зі збільшенням числа гармонік  $m$ , пропонується ітераційна апроксимація по одній (або двох і більше) гармоніках, обчислення залишків та застосування наступної ітерації до більш високочастотних залишків:

$$r_i(t) = r_{i-1}(t) - (a + bt + c_i \sin(d_i t + e_i)) \quad (21)$$

(для одночастинного наближення), або :

$$r_i(t) = r_{i-1}(t) - \left( a + bt + \sum_{j=1}^m c_{ij} \sin(d_{ij} t + e_{ij}) \right) \quad (22)$$

(для  $m$ -частинного наближення). Мінімізація нелінійного функціоналу нев'язки (19) або (20) викликає труднощі, спричинені існуванням декількох локальних мінімумів функції  $F$  у просторі значень параметрів та відсутністю єдиного розв'язку задачі. Для подолання цієї проблеми пропонується здійснювати оптимізацію з використанням декількох



початкових оцінок значень параметрів та генетичного принципу їх відбору.

Наведені нижче рисунки ілюструють роботу запропонованих методів.

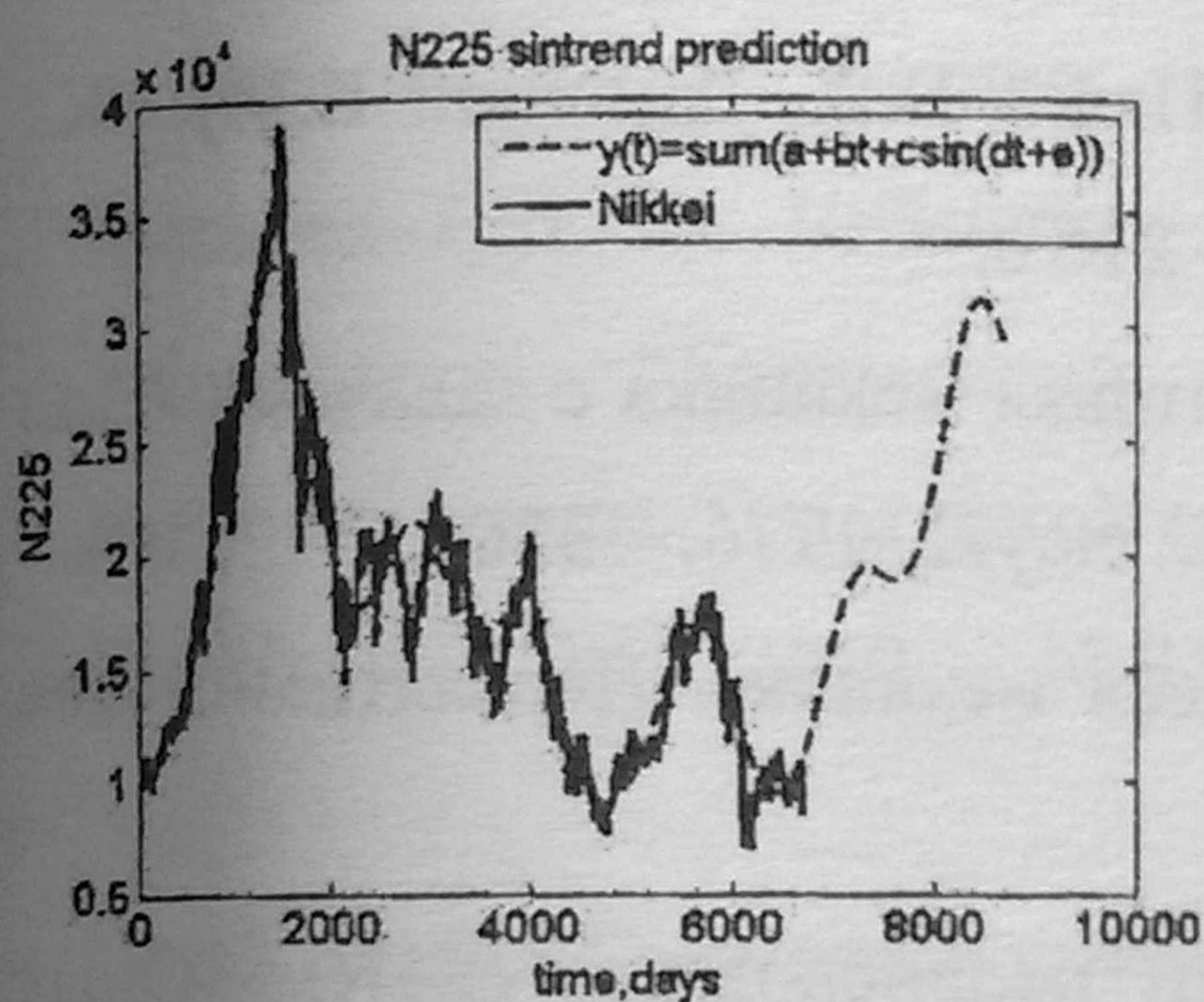


Рис. 3

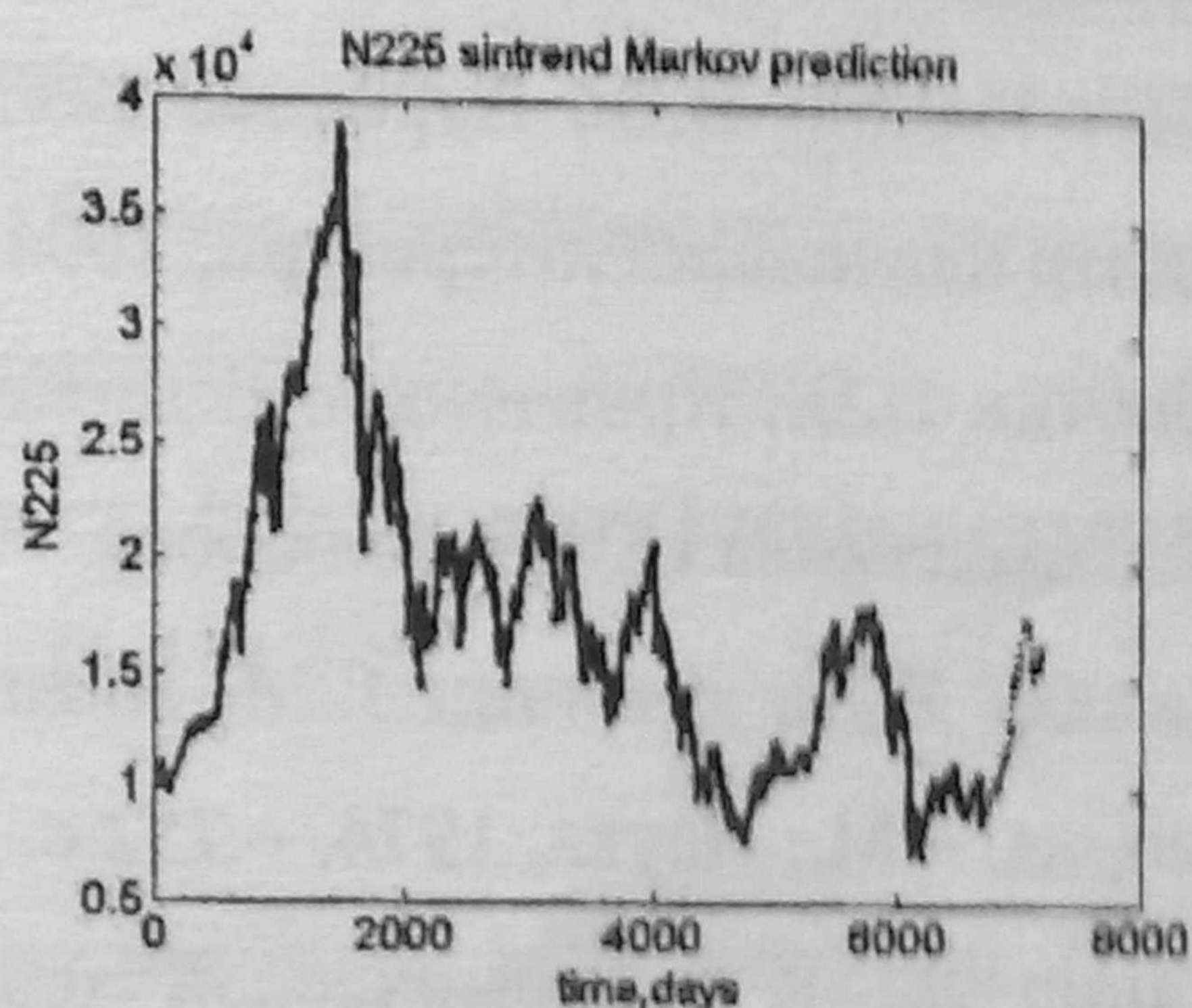


Рис. 4

Прогнозування індексу Nikkei (Японія) методом дискретного Фурє-продовження (рис. 3.) та методами дискретного Фур'є-продовження+ланцюги Маркова (рис. 4).

У даній роботі запропоновано алгоритми прогнозування часових рядів на основі складних ланцюгів Маркова та дискретного Фур'є-продовження. Принцип ієрархії часових приростів дозволяє максимально повно використати інформацію, яка міститься у часовому ряді при побудові прогнозу із застосуванням складних ланцюгів Маркова. Дискретне Фур'є-продовження дозволяє покращити прогнозування низькочастотної складової ряду. Експериментальна робота з прогнозування часових рядів індексів фондових ринків показує ефективність алгоритмів та підтверджує актуальність подальших досліджень запропонованих методів.



## Література

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
2. Принципи моделювання та прогнозування в екології: Підручник. / [Богобоящий В.В., Курбанов К.Р., Палій П.Б., Шмандій В.М]. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 216 с.
3. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика с задачами / Под ред. академика Н.Н.Боголюбова. – М.: Наука, 1976. – 336 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – М.: Наука, 1974. – 752 с.
5. Сапир Ж. К экономической теории неоднородных систем: Опыт исследования децентрализованной экономики: Пер. с фр. под науч. ред. Н.А. Макашевой. – М.: ГУ ВШЭ, 2001. – 248 с.
6. L. von Bertalanffy, General System Theory—A Critical Review. - «General Systems», vol. VII, 1962, p. 1—20.
7. Сапцин В.М. Опыт применения генетически сложных цепей Маркова для нейросетевой технологии прогнозирования. / Сапцин В.М. // Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ.- Кривий Ріг, КЕІ КНЕУ, 2009, вип. 2(18).- С.56-66.
8. Дискретне Фур'є-продовження часових рядів / Д.М. Чабаненко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1 (66). – Дніпропетровськ, 2010. – С. 114-122.
9. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов / Лукашин Ю.П. [ Учеб. пособие]. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
10. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: учеб. пособие для иностр. студ. вузов, направления



"Компьютерные науки" / Зайченко Ю. П.; [М.З. Згуровский (общ.ред.)]. – К.: Слово, 2008. — 344 с.

11.Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе. / Ежов А.А., Шумский С.А. – М., 1998.

12.Чабаненко Д. М. Виявлення короткочасної та довготривалої пам'яті та прогнозування часових рядів методами складних ланцюгів Маркова / Д. М. Чабаненко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ ХПІ, 2010. – № 31. – С. 184-190.

### 1.12. Вплив Саймона Кузнеця на розвиток економетрики

Черняк О.І., д.е.н., професор,  
зав. кафедри економічної кібернетики

Комашко О.В., к.ф.-м.н., доцент

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна,  
м. Київ.

Саймон Кузнець не був економетристом у вузькому розумінні, однак його вплив на розвиток економетрики важко переоцінити. Роботи С. Кузнеця в сфері національних рахунків забезпечили емпіричну базу для розвитку економетричного макромодельювання, починаючи з перших моделей Я. Тінбергена кінця 30-х років минулого сторіччя. Емпіричні та теоретичні дослідження С. Кузнеця в теорії економічного зростання та економічного розвитку, здійснені у 1940 — 60-х роках, стали джерелом розбудови економетричних моделей у цих галузях. Оскільки згаданій проблематиці присвячена численна література, в даній роботі ми обмежимось лише констатацією факту. Натомість ми детальніше



Наукове видання

**ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ  
ПРОЦЕСІВ:  
СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

Монографія

Під ред. О.І. Черняка, П.В. Захарченко.

Підписано до друку 19.05.2011 р.

Гарнітура «Times New Roman». Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Друк – різнографія. Ум.-друк. арк. 20,9. Обл.-вид. арк. 21,4

Наклад 150 прим. Зам. № 36

---

Видавництво та друк Ткачук О.В.

71100, Запорізька обл., м. Бердянськ, вул. Кірова, 52/49, 53

Тел. (097) 918-66-41, (066) 106-29-93; e-mail: Tizdat@gmail.com

<http://izdatelstvo.at.ua>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до

Державного реєстру видавців, виготівників і

розповсюджувачів видавничої продукції

ДК № 3377 від 29.01.2009 р.