

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

**ГОРКУНЕНКО АНДРІЙ БОРИСОВИЧ**



УДК 51.77+519.21+519.246.8

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ  
ЦИКЛІЧНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ІНФОРМАЦІЙНИХ  
СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Спеціальність 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Лупенко Сергій Анатолійович**,  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя,  
завідувач кафедри комп'ютерних систем та  
мереж

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
**Матвійчук Ярослав Миколайович**,  
Інститут підприємництва та перспективних  
технологій при Національному університеті  
«Львівська політехніка», завідувач кафедри  
інформаційних систем та технологій

доктор технічних наук, професор,  
Лауреат державної премії України  
в галузі науки і техніки  
**Щербак Леонід Миколайович**,  
Національний авіаційний університет,  
Інститут інформаційно-діагностичних систем  
Національного авіаційного університету,  
професор кафедри інформаційно-  
вимірювальних систем

Захист відбудеться “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2013 р. о \_\_\_ год. \_\_\_ хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради К58.052.01 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, буд. 56, корп. 2, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2013 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К58.052.01



Б.Г. Шелестовський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Серед значної множини економічних явищ та процесів, особливе місце посідають економічні процеси, які мають циклічну часову структуру. До циклічних економічних процесів відносять індекси ділової активності усіх галузей економіки, валовий національний продукт країн, сезонні індекси доходів підприємств, валовий збір зернових культур і т. д. Основними задачами, що виникають у наукових та прикладних дослідженнях циклічних економічних процесів є задачі їх аналізу та прогнозування, що є підставою для прийняття відповідних економічних рішень. Поява та активне впровадження у практику діяльності підприємств інформаційних систем підтримки прийняття рішень сприяє інтенсифікації процесу прийняття економічних рішень та підвищує рівень їх об'єктивності. Ефективність функціонування інформаційних систем підтримки прийняття рішень на базі циклічних економічних процесів у значній мірі залежить від методів їх аналізу та прогнозування, які становлять алгоритмічну основу програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень. У свою чергу точність, достовірність та інформативність цих методів визначається адекватністю та конструктивністю математичних моделей циклічних економічних процесів.

Серед відомих підходів до моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів виділяють детермінований та стохастичні підходи; підходи на основі теорії нейронних мереж, теорії МГУА, інтервальних моделей та моделей нечіткої математики. У рамках детермінованого підходу до математичного моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів використовуються такі їх моделі як ряди та перетворення Фур'є, вейвлет-ряди та вейвлет-перетворення, диференціальні рівняння Вінтерса. Вагомі результати із застосуванням детермінованого підходу до моделювання та аналізу циклічних економічних процесів досягнуто працями таких вчених як Yousefi S., Дмитрусенко К. О., Евсеев А. П., Козінова А. Т., Winters P. До стохастичних математичних моделей циклічних економічних процесів належать регресійні моделі, стаціонарний випадковий процес, періодичні моделі ARMA, періодичні ланцюги Маркова. Яскравими представниками даного підходу є Ghysels E., Акаєв А. А., Музиченко А. С., Слущкий Є. Є., Царук О. В., Чабаненко Д. М. Підхід до аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів на основі теорії нейронних мереж представлений працями таких вчених: Біліловець О. С., Резниченко Е. В., Соловьева Ю. С., Крючин О. В. Використанням моделей у методі «Гусениця» до циклічних економічних процесів займалися: Захарова О. В., Polukoshko S. Представниками підходу на основі теорії МГУА є Івахненко А. Г., Степашко В. С. Застосуванням інтервальних моделей до циклічних економічних процесів займався Ревенко Д. С. Розвитком підходу до моделювання та аналізу циклічних економічних процесів на основі моделей нечіткої математики займалися Зайченко Ю. П., Мазорчук М.С.

Незважаючи на значні здобутки у сфері математичного моделювання, аналізу, прогнозування та імітації циклічних економічних процесів у інформаційних системах підтримки прийняття рішень, мають місце ряд таких недоліків:

- недостатня точність та достовірність методів і програмних засобів аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, що у певній мірі зумовлено неврахуванням у їх математичних моделях мінливості (нестабільності) ритму циклічних складових економічних процесів;

- недостатній розвиток та низька інформативність методів та програмних засобів сумісного аналізу сукупностей взаємопов'язаних циклічних економічних процесів, що зумовлено неврахуванням у математичних моделях мінливості та спільності ритму їх циклічних складових;

- недостатній рівень розбудови методів та програмних засобів імітації циклічних економічних процесів, які б, шляхом проведення процедури ідентифікації, одночасно давали змогу враховувати характеристики морфологічного характеру та характеристики ритму імітованих циклічних економічних процесів та забезпечували б необхідний рівень точності та достовірності їх імітації на ЕОМ.

Наявність вказаних вище недоліків, надають підстави сформулювати актуальне наукове завдання розроблення нових математичних моделей, методів аналізу, прогнозування та комп'ютерної імітації циклічних економічних процесів, з метою підвищення точності, достовірності та інформативності їх моделювання, аналізу та прогнозування в інформаційних системах підтримки прийняття рішень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота пов'язана з науково-дослідною темою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Розробка математичного та програмного забезпечення інформаційних систем діагностики та аутентифікації людини за циклічними біометричними сигналами» (державний реєстраційний номер 0112U002203). Вклад автора у наукову тему полягає в розробці програмних засобів аналізу та імітації сигналів циклічної структури.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення та застосування на основі теоретико-ймовірнісного підходу нових математичних моделей, методів статистичного аналізу, прогнозування та комп'ютерної імітації циклічних економічних процесів для підвищення точності, достовірності та інформативності їх моделювання, аналізу та прогнозування в інформаційних системах підтримки прийняття рішень.

Для досягнення мети дослідження були поставлені наступні задачі.

1. Провести огляд літературних джерел з метою аналізу відомих математичних моделей, методів аналізу, прогнозування та комп'ютерної імітації циклічних економічних процесів у інформаційних системах підтримки прийняття рішень.

2. Розробити нові математичні моделі циклічних економічних процесів, які б враховували їх стохастичну природу, трендові складові, циклічність та мінливість ритмічної структури їх циклічної складової, тренд, що дало б змогу підвищити точність та достовірність їх аналізу та прогнозування у системах підтримки прийняття рішень.

3. Розробити нові математичні моделі взаємопов'язаних циклічних економічних процесів, які б враховували спільність та мінливість ритмічної структури їх циклічних складових, що дало б змогу створити інформативні методи їх сумісного аналізу.

4. Обґрунтувати методи статистичного опрацювання циклічних економічних процесів на основі їх нових математичних моделей.

5. Розробити метод прогнозування циклічних економічних процесів на основі їх нових математичних моделей.

6. Обґрунтувати та застосувати методи імітаційного моделювання циклічних економічних процесів з метою підвищення точності та достовірності їх комп'ютерної симуляції в задачах навчання та тестування систем підтримки прийняття економічних рішень.

7. Створити та впровадити у практику програмну систему моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, на основі якої провести апробацію результатів дисертаційного дослідження.

*Об'єкт дослідження:* процес моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень.

*Предмет дослідження:* математичні моделі, методи та програмні засоби аналізу, прогнозування та комп'ютерної імітації циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень.

*Методи дослідження:* методи теорії випадкових процесів для розробки нових математичних моделей циклічних економічних процесів, методи теорії статистичного точкового та інтервального оцінювання для розробки методів аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, методи спектрального аналізу для мінімізації розмірності простору інформативних та прогностичних ознак, методи комп'ютерного імітаційного моделювання для тестування розроблених моделей, методів та програмних засобів моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Уперше розроблено математичну модель циклічних економічних процесів у вигляді суми поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу, яка внаслідок одночасного врахування трендових складових, стохастичності, циклічності економічних процесів та мінливості ритму їх циклічних складових, дала змогу підвищити точність, достовірність методів та програмних засобів моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів у системах підтримки прийняття рішень.

2. Уперше розроблено математичну модель взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у вигляді суми вектора поліноміальних функцій та вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, що за рахунок відображення спільності та мінливості ритмічної структури їх циклічних складових, дало змогу обґрунтувати інформативні методи їх сумісного аналізу.

3. Уперше обґрунтовано застосування методів статистичного оцінювання ймовірнісних характеристик циклічних випадкових процесів та векторів для розв'язування задачі аналізу циклічних економічних процесів, що внаслідок врахування мінливості та спільності ритму їх циклічних складових, уможливило підвищення точності, достовірності та інформативності аналізу циклічних економічних процесів у системах підтримки прийняття рішень.

4. Розроблено новий метод прогнозування циклічних економічних процесів, який внаслідок врахування мінливості ритму їх циклічних складових, дав змогу підвищити точність прогнозування.

5. Уперше обґрунтовано та застосовано методи комп'ютерного імітаційного моделювання циклічних випадкових процесів та векторів для задачі імітації на ЕОМ циклічних економічних процесів, які завдяки наявності процедури ідентифікації алгоритму генерування, одночасного врахування морфологічних характеристик та характеристик ритму циклічних складових імітованих економічних процесів, підвищують точність та достовірність їх симуляції на ЕОМ.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що розроблені у дисертації методи та програмні засоби моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, унаслідок врахування мінливості та спільності ритму їх циклічних складових, уможливили підвищення точності, достовірності та інформативності процесів моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів у системах підтримки прийняття рішень. Результати дисертаційного дослідження впроваджено у вигляді комп'ютерних програм для статистичного опрацювання та комп'ютерного імітаційного моделювання циклічних економічних процесів у ТОВ «ЛЕП». Також результати дисертаційної роботи були впроваджені в навчальний процес, зокрема, використані при викладанні курсів «Цифрова обробка сигналів та зображень» та «Моделювання систем» на кафедрі комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати, які становлять основний зміст дисертації, автор отримав особисто. У наукових працях, опублікованих із співавторами, автору дисертації належить: у [1] – розробка математичної моделі економічних процесів у вигляді циклічного випадкового процесу та обґрунтування методів статистичного аналізу циклічних економічних процесів на базі нової моделі; у [2] – розробка математичної моделі сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у вигляді адитивного поєднання вектора трендових складових та вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів; у [3] – обґрунтовано та застосовано методи імітаційного моделювання сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів; у [4] – створення програмної системи статистичного аналізу та імітації циклічних економічних процесів; у [5] – розробка інформаційної технології прогнозування циклічних економічних процесів; у [6] – проведення порівняльного аналізу існуючих математичних моделей циклічних економічних процесів; у [7] – розробка інформаційної технології моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів; у [8] – обґрунтування прогностичних ознак в інформаційних системах моделювання аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів; у [9, 10] – створення архітектури комп'ютерної програми аналізу та імітації циклічних економічних процесів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи апробовано на Всеукраїнській науковій конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2009), Всеукраїнській школі-семінарі

молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології» (Тернопіль, 2011), XVII, XVIII, XIX Міжнародних наукових конференціях «Проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності» (смт. Східниця, 2011; м. Ялта, 2011; м. Мукачево, 2012), Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (м. Київ, 2011), XV науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2011), I, II науково-технічних конференціях «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2011, 2012), наукових семінарах кафедри комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, на науковому семінарі кафедри комп'ютерних систем та мереж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, на науковому семінарі «Математичне моделювання та обчислювальні методи» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, науковому семінарі кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка та науковому семінарі кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка».

**Публікації.** За результатами дисертації, опубліковано 19 наукових праць, 8 із них – статті у фахових наукових виданнях України (1 – внесена до наукометричної бази Inspec), 9 тез наукових конференцій (4 міжнародних), отримано 2 свідоцтва на авторські твори.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, двох додатків та списку використаних джерел із 102 найменувань. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 179 сторінок; основний текст займає 114 сторінок. Робота містить 6 таблиць та 74 рисунка.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, відзначено зв'язок із науково-дослідними темами, сформульовано мету та задачі дослідження. Наведено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, також розглянуто питання апробації результатів та їх висвітлення у фахових наукових виданнях.

У **першому розділі** проведено огляд та порівняльний аналіз існуючих математичних моделей, методів, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень. Сформульовано наукове завдання дисертаційної роботи.

Розглянувши існуючі підходи, математичні моделі, методи аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень, сформульовано їх основні недоліки. У рамках детермінованого підходу до моделювання циклічних економічних процесів, можна вказати характерний його недолік — неврахування у математичних моделях

стохастичної структури циклічних економічних процесів, що зумовлює низьку точність та достовірність методів їх аналізу та прогнозування. До основних недоліків відомих математичних моделей у рамках стохастичного підходу до аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів слід віднести: неврахування трендової складової та мінливості ритму циклічної складової економічного процесу, неврахування спільності ритму циклічних складових взаємопов'язаних економічних процесів. Недоліками моделей, що побудовані у рамках теорії нейронних мереж, теорії МГУА, інтервальних моделей та моделей нечіткої математики є наступні: певною мірою суб'єктивізм, висока обчислювальна складність аналізу та прогнозування мінливості та спільності ритму циклічних складових економічних процесів.

Показано, що нові математичні моделі циклічних економічних процесів повинні відображати їх стохастичну та циклічну структуру, враховувати тренд та закономірності зміни ритму циклічних складових економічних процесів.

Підсумовуючи результати проведеного аналізу математичних моделей, зведено їх у таблицю 1.

Таблиця 1 Математичні моделі циклічних економічних процесів

Властивості циклічних економічних процесів, які враховуються математичною моделлю	Відомі математичні моделі											Нові моделі		
	Детерміновані			Стохастичні				Інші моделі				Сума поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу	Сума вектора поліноміальних функцій та вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів	
	Ряди та перетворення Фур'є	Вейвлет-ряди та Вейвлет-перетворення	Рівняння Вінтерса	Регресійні моделі	Стационарний випадковий процес	Періодичні моделі ARMA	Періодичні ланцюги Маркова	Нейромережеві моделі	Моделі в методі «Гусениця»	Нечіткі моделі	Моделі у МГУА			Інтервальні моделі
Циклічна структура циклічних економічних процесів	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Випадковість структури циклічних економічних процесів	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+
Мінливість ритму	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Спільність ритму	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Трендові складові	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+

У другому розділі розроблено нову математичну модель циклічних економічних процесів у вигляді суми детермінованої поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу, та розроблено нову математичну модель сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у вигляді суми вектора детермінованих поліноміальних функцій та вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. Обґрунтовано методи статистичного опрацювання циклічних економічних процесів для задач їх аналізу та прогнозування в інформаційних системах підтримки прийняття рішень. Проведено верифікацію розроблених математичних моделей циклічних економічних процесів.



У загальному випадку для сукупності  $N$  взаємопов'язаних циклічних економічних процесів розроблено її адитивну модель

$$\mathbf{Y}_N(\omega, t) = \mathbf{F}_N(t) + \mathbf{\Theta}_N(\omega, t), \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{W}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{F}_N(t) = \left\{ f_i(t) = \sum_{n=0}^N c_n \cdot t^n, i = \overline{1, N}, t \in \mathbf{W} \right\}$  – вектор детермінованих поліноміальних

функцій, що моделює сукупність трендових складових, а вектор випадкових

процесів  $\mathbf{\Theta}_N(\omega, t) = \left\{ \xi_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{W} \right\}$  є вектором циклічних ритмічно

пов'язаних випадкових процесів, для якого згідно робіт Лупенка С.А., сумісні  $k$ -вимірні функції розподілу є інваріантними за сукупністю часових аргументів, а саме:

$$F_{k_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}} (x_1, \dots, x_k; t_1, \dots, t_k) = F_{k_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}} (x_1, \dots, x_k; t_1 + T(t_1, n), \dots, t_k + T(t_k, n)),$$

$$k \in \mathbf{N}, n \in \mathbf{Z}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}, t_1, \dots, t_k \in \mathbf{W}. \quad (2)$$

Функція  $T(t, n)$  отримала назву функції ритму вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. Функція  $T(t, n)$  визначає закон зміни часових інтервалів між однофазними значеннями циклічної випадкової функції та повинна задовольняти таким властивостям:

1. а)  $T(t, n) > 0$ , якщо  $n > 0$  ( $T(t, 1) < \infty$ );
- б)  $T(t, n) = 0$ , якщо  $n = 0$ ;
- в)  $T(t, n) < 0$ , якщо  $n < 0$ ,  $t \in \mathbf{W}$ . (3)

2. Для будь-яких  $t_1 \in \mathbf{W}$  та  $t_2 \in \mathbf{W}$ , для яких  $t_1 < t_2$ , для функції  $T(t, n)$  виконується строга нерівність:

$$T(t_1, n) + t_1 < T(t_2, n) + t_2, \forall n \in \mathbf{Z}. \quad (4)$$

Функція  $T(t, n)$  є найменшою за модулем ( $|T(t, n)| \leq |T_y(t, n)|$ ) серед усіх таких функцій  $\{T_y(t, n)\}$ ,  $y \in \Gamma$ , які задовольняють (3) та (4).

Областю визначення випадкового вектора  $\mathbf{Y}_N(\omega, t)$  є декартовий добуток множин  $\mathbf{W}$  та  $\mathbf{\Omega}$ , де  $\mathbf{W}$  є впорядкованою дискретною множиною  $\mathbf{W} = \mathbf{D} = \{t_{m_l} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2\}$  або множиною  $\mathbf{W} = \mathbf{R}$  дійсних чисел, а множина  $\mathbf{\Omega}$  є множиною елементарних випадкових подій. Якщо множина є дискретною  $\mathbf{W} = \mathbf{D}$ , то для її елементів має місце такий тип лінійного упорядкування:  $t_{m_1 l_1} < t_{m_2 l_2}$ , якщо  $m_2 > m_1$ , або якщо  $m_2 = m_1$ ,  $l_2 > l_1$ , в інших випадках  $t_{m_1 l_1} > t_{m_2 l_2}$  ( $m_1, m_2 \in \mathbf{Z}, l_1, l_2 \in \overline{1, L}$ ,  $0 < t_{m, l+1} - t_{m, l} < \infty$ ).

Для аналізу та прогнозування лише одного циклічного економічного процесу розроблено його математичну модель, що є частинним випадком моделі (1), а саме, коли  $N=1$ , модель (1) матиме вигляд суми детермінованої поліноміальної функції, яка описує тренд та циклічного випадкового процесу, який описує циклічну складову досліджуваного економічного процесу.

Першим етапом аналізу сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів є процедура розділення відповідних трендових складових  $\{f_i(t), i = \overline{1, N}, t \in \mathbf{W}\}$  та сукупності циклічних компонент  $\{\xi_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{W}\}$ , що дає змогу проводити їх аналіз та прогнозування окремо. Оцінювання трендових складових здійснювалося за допомогою методу найменших квадратів, трендові криві вибиралися з класу поліномів третього порядку, а саме  $f_i(t) = c_{0i} + c_{1i} \cdot t + c_{2i} \cdot t^2 + c_{3i} \cdot t^3, t \in \mathbf{W}$ .

Циклічні компоненти визначалися шляхом віднімання трендових складових від компонент вектора  $\mathbf{Y}_N(\omega, t)$ , а саме:

$$\xi_i(\omega, t) = y_i(\omega, t) - f_i(t), i = \overline{1, N}, \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{W}. \quad (5)$$

Оскільки згідно із математичною моделлю (1) вектор  $\mathbf{\Theta}_N(\omega, t)$  є вектором циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, то це уможливило використання відомих статистик, які є слушними та асимптотично незміщеними, для оцінювання ймовірнісних характеристик сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів. Зокрема, реалізація статистичної оцінки математичного сподівання циклічного економічного процесу отримується на основні такого виразу:

$$\hat{m}_{\xi_i}(t) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_{i_{\omega}}(t + T(t, n)), t \in \mathbf{W}_{c_1} = [\tilde{t}_1, \tilde{t}_2), \quad (6)$$

де  $M$  – кількість зареєстрованих циклів, а  $\mathbf{W}_{c_1}$  – область визначення першого циклу економічного процесу,  $\xi_{i_{\omega}}$  – реалізація  $i$  – го циклічного економічного процесу.

Реалізація статистичної оцінки змішаної центральної моментної функції порядку  $p = \sum_{j=1}^k R_j$  циклічного економічного процесу отримана на основні такого виразу:

$$\hat{r}_{p_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}}(t_1, \dots, t_k) = \frac{1}{M - M_1} \sum_{n=0}^{M-M_1} (\xi_{i_{\omega}}^{R_1}(t_1 + T(t_1, n)) - \hat{m}_{\xi_{i_1}}(t_1 + T(t_1, n)))^{R_1} \dots \cdot (\xi_{i_{k\omega}}^{R_k}(t_k + T(t_k, n)) - \hat{m}_{\xi_{i_k}}(t_k + T(t_k, n)))^{R_k}, t_1 \in \mathbf{W}_{c_1}, t_2, \dots, t_k \in \bigcup_{m=1}^{M_1} \mathbf{W}_{c_m}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}. \quad (7)$$

При  $p=2$  та  $k=2$ , функція  $r_{2_{\xi_{i_1} \xi_{i_2}}}(t_1, t_2), t_1 \in \mathbf{W}_{c_m}, t_2 \in \mathbf{W}$  є взаємною кореляційною функцією циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів  $\xi_{i_1}(\omega, t)$  та  $\xi_{i_2}(\omega, t)$  на області  $\mathbf{W}_{c_m} \times \mathbf{W}$ . У формулі (7) множина  $\mathbf{W}_{c_m}$  є областю

визначення  $m$ -го циклу досліджуваного економічного процесу, а  $M_1$  – кількість економічних циклів, у рамках яких набувають значення аргументи  $t_2, \dots, t_k$ .

Для отримання реалізацій статистик (6) та (7), необхідно оцінити функцію ритму  $T(t, n)$ . З цією метою використано відомий метод оцінювання функції ритму, що ґрунтується на процедурі лінійної інтерполяції на основі відомостей про початки циклів досліджуваного циклічного економічного процесу.

Проведено серію експериментів по опрацюванню циклічних економічних процесів на основі їх нової, розробленої у роботі, математичної моделі та відомої моделі, у якій циклічна складова економічного процесу описується періодичним випадковим процесом. Один із прикладів результатів таких статистичних експериментів подано на рисунках 1-3.

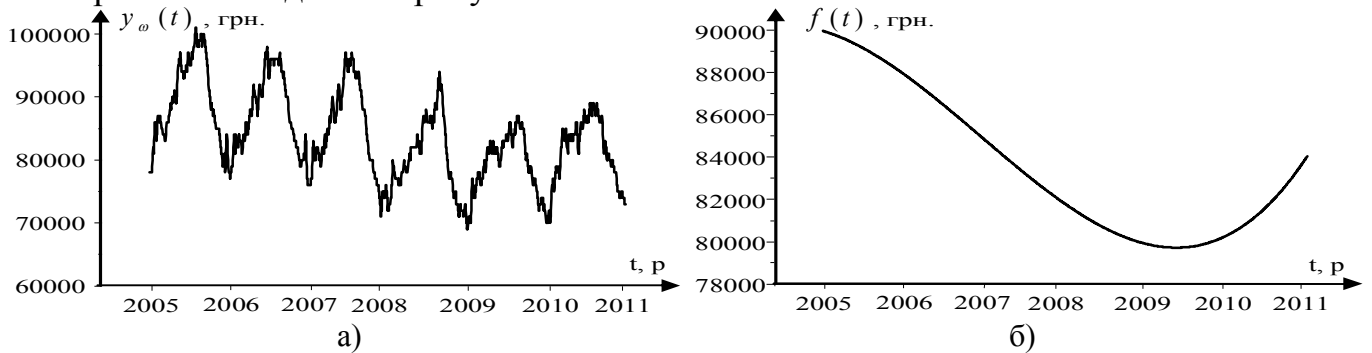


Рисунок 1 – Графік сезонного доходу Кримської області та його функція тренду: а) реалізація циклічного економічного процесу; б) функція тренду.

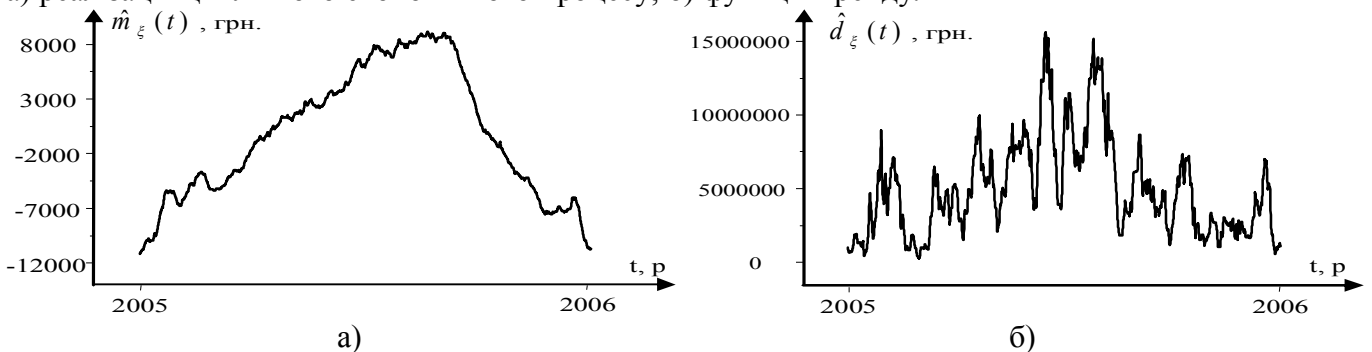


Рисунок 2 – Реалізації статистичних оцінок математичного сподівання (а) та дисперсії (б) циклічної компоненти сезонного доходу Кримської області при її опрацюванні на основі нової моделі.

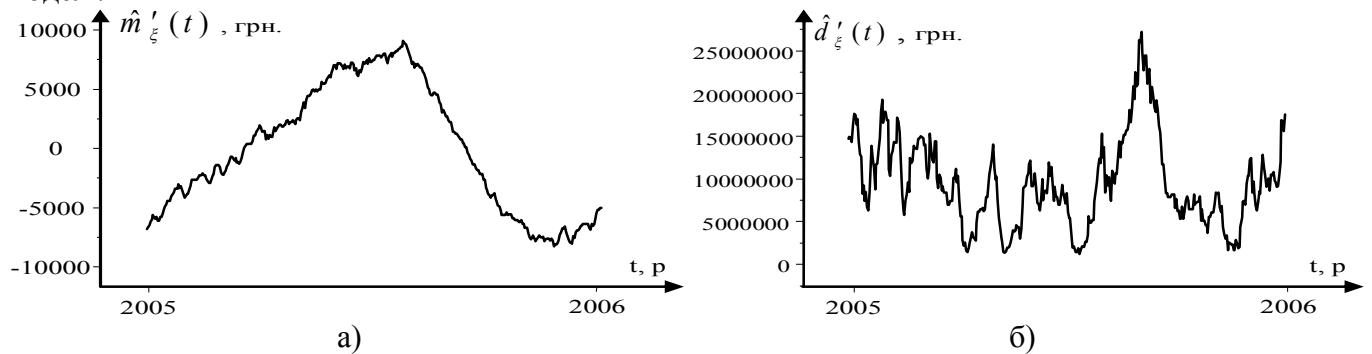


Рисунок 3 – Реалізації статистичних оцінок математичного сподівання (а) та дисперсії (б) циклічної компоненти сезонного доходу Кримської області при її опрацюванні на основі відомої моделі.

У результаті проведеного порівняльного аналізу результатів статистичного опрацювання циклічних економічних процесів встановлено, що метод статистичного опрацювання на основі їх нових моделей, у порівнянні із методом, який базується на їх відомих моделях (періодично корельований випадковий процес, періодичні авторегресійні моделі та періодичні ланцюги Маркова), характеризується більшою точністю, що пояснюється врахуванням у нових моделях мінливості ритму циклічних складових аналізованих економічних процесів і, як наслідок, можливістю адаптації методів їх аналізу до змін ритму їх циклічних складових.

Проведено серію експериментів по опрацюванню взаємопов'язаних циклічних економічних процесів, зокрема індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США. На рисунку 4а подано реалізацію статистичної оцінки взаємної кореляційної функції індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США, що дає змогу дослідити ступінь взаємозалежності цих двох циклічних економічних процесів.

На рисунку 4б подано структурну схему обґрунтованого у дисертації методу аналізу циклічного економічного процесу.

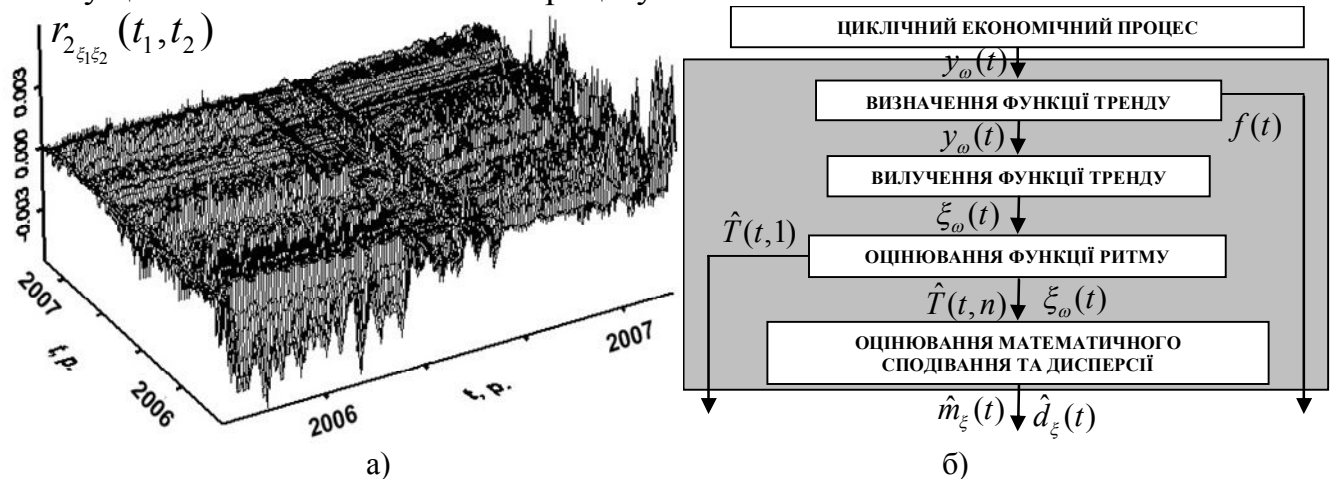


Рисунок 4 – Реалізація статистичної оцінки взаємної кореляційної функції індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США (а) та структурна схема методу аналізу циклічного економічного процесу (б).

У всіх серіях проведених статистичних експериментів по опрацюванню циклічних економічних процесів емпірично підтверджено факт наявності повторюваності (наближеної до циклічної повторюваності) статистичних оцінок ймовірнісних характеристик циклічних компонент економічних процесів та мінливості їх функцій ритму, що вказує на адекватність розроблених математичних моделей та на достатню обґрунтованість їх використання в задачах моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів.

**У третьому розділі** розроблено метод прогнозування циклічних економічних процесів, а також обґрунтовано та застосовано методи їх імітаційного моделювання на ЕОМ.

На базі розроблених у другому розділі дисертації математичних моделей та методів статистичного аналізу циклічних економічних процесів обґрунтовано діагностичні та прогностичні ознаки, які відображають наявний стан та майбутні

тенденції розвитку економічної системи, яка репрезентується відповідними циклічними економічними процесами, що дало змогу забезпечити мінімальність за обсягом та повноту за інформативністю діагностичних та прогностичних ознак, за якими здійснюється оцінювання, діагностика та прогнозування стану економічних циклічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень. А саме, використавши критерій згоди  $\chi^2$  з довірчою ймовірністю 0,95 встановлено несуперечність нормальному закону розподілу досліджуваних циклічних економічних процесів. Враховуючи встановлену несуперечність розподілу циклічних економічних процесів нормальному закону розподілу, обґрунтовано проводити аналіз цих економічних процесів лише в рамках перших двох моментних функцій, а саме, при проведенні статистичного оцінювання ймовірнісних характеристик циклічних компонент сукупності взаємопов'язаних економічних процесів достатньо оцінити вектор їх математичних сподівань  $\mathbf{M}_{\xi_i}(t) = \{m_{\xi_i}(t), i = \overline{1, N}\}$   $t \in [0, W_{c_1}]$  та матрицю їх кореляційних (автокореляційних та взаємнокореляційних) функцій  $r_{2_{\xi_1 \xi_2}}(t_1, t_2) = \{r_{\xi_1 \xi_2}(t_1, t_2), i_1, i_2 = \overline{1, N}\}$ .

З метою мінімізації розмірності простору інформативних (діагностичних та прогностичних) ознак при розв'язанні задач аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, застосовано розклади статистичних оцінок їх моментних функцій першого та другого порядків у ряди Фур'є. Як приклад, на рисунку 5 відображено результати розкладу реалізації оцінки взаємної кореляційної функції індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США (рисунок 4а), у двовимірний ряд Фур'є, а саме, подано її двовимірні синусний та косинусний спектри.

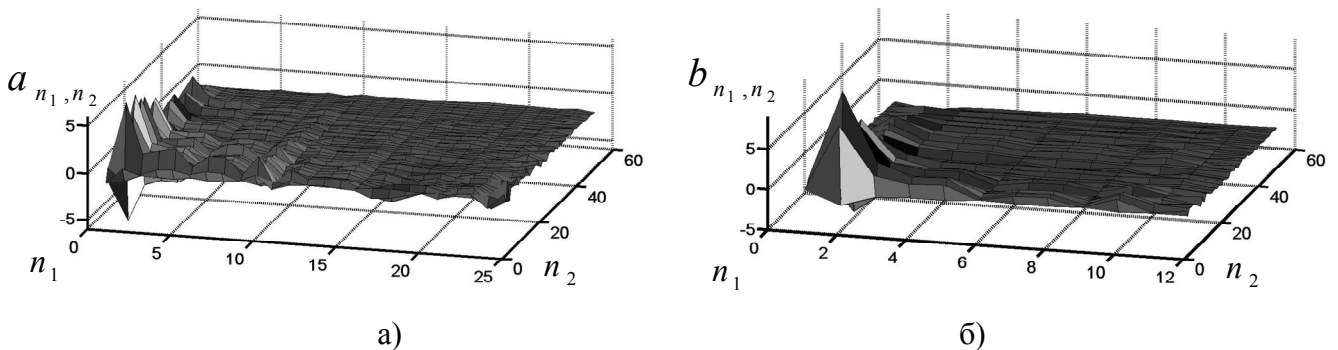


Рисунок 5 – Розклад реалізації оцінки взаємної кореляційної функції циклічних компонент взаємопов'язаних економічних процесів (індекс активності нерухомого майна США та індекс рентного доходу США) у двовимірний ряд Фур'є: двовимірний косинусний спектр (а) та двовимірний синусний спектр (б).

Застосувавши розклади реалізації статистичних оцінок математичних сподівань та кореляційних функцій циклічних економічних процесів одновимірні та двовимірні ряди Фур'є. Відкинувши ті складові рядів, які вносять у ці оцінки вклад менший як 5% від енергії відповідних оцінок, у середньому на 80% зменшено розмірність вектора інформативних (діагностичних та прогностичних) ознак.

Розроблено метод прогнозування циклічних економічних процесів. Метод прогнозування полягає у побудові сукупності інтервалів довіри, які із наперед

заданою ймовірністю (надійністю) накривають значення майбутнього (прогнозованого) економічного циклу, структурна схема даного методу представлена на рисунку 6б. Процедура прогнозування складається із трьох етапів: етап прогнозування циклічної складової економічного процесу, етап прогнозування його трендової складової та етап прогнозування циклічного економічного процесу загалом. Результатом прогнозування циклічного економічного процесу є побудова множини інтервалів довіри  $Y \in [\gamma_1(t), \gamma_2(t)]$ , які обчислюються наступним чином. Верхня  $\gamma_1(t)$  та нижня  $\gamma_2(t)$  межі інтервалу довіри визначаються згідно виразів:

$$\gamma_1(t) = \tilde{\gamma}_1(t) + f(t); \quad \gamma_2(t) = \tilde{\gamma}_2(t) + f(t), \quad (8)$$

де  $\tilde{\gamma}_1(t) = \hat{m}_\xi(t) + 3\sqrt{\hat{d}_\xi(t)}$ ,  $\tilde{\gamma}_2(t) = \hat{m}_\xi(t) - 3\sqrt{\hat{d}_\xi(t)}$ ,  $\hat{m}_\xi(t)$  та  $\hat{d}_\xi(t)$  – оцінка математичного сподівання та дисперсії циклічної складової економічного процесу.

З метою апробації розробленого методу прогнозування та порівняння його з відомим методом, проведено серію статистичних експериментів. Як приклад, на основі відомих значень функції ритму циклічної складової економічного ряду сезонного доходу Кримської області, було оцінено її прогнозоване значення на 2011р., як середнє значення попередніх (результат подано на рисунку 6а).

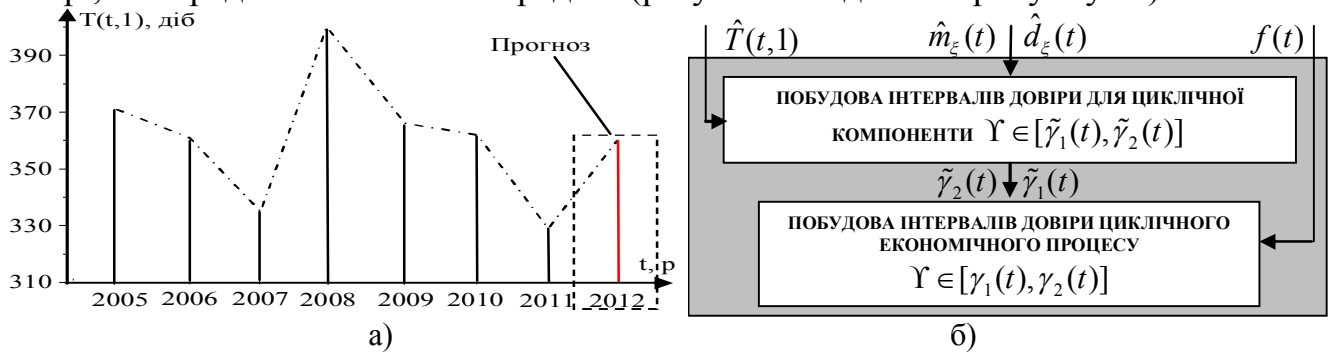


Рисунок 6 – Функція ритму економічного ряду сезонного доходу Кримської області з прогнозованим значенням на 2011р. (а), структурна схема методу прогнозування циклічного економічного процесу та циклічної компоненти на базі нової моделі (б).

З урахуванням функції ритму разом з прогнозованим її значенням на 2012р. (рисунок 6а), оцінок математичного сподівання та дисперсії (див. рисунки 2-3), на рисунку 7 побудовано інтервали довіри  $Y \in [\gamma_1(t), \gamma_2(t)]$  на основі нової та відомої математичних моделей. Для відомої моделі значення періоду  $T = 365$ .

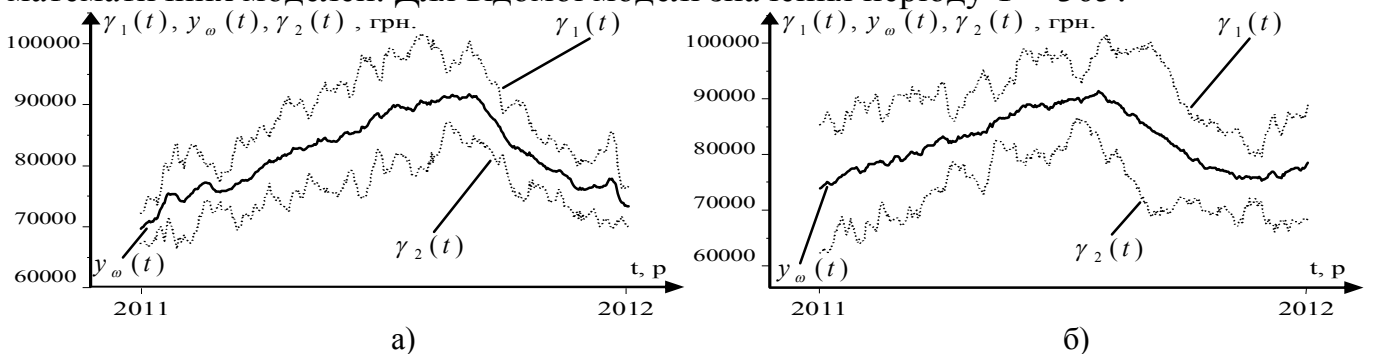


Рисунок 7 – Інтервали довіри економічного ряду сезонного доходу Кримської області для прогнозованого циклу на 2011р. на основі нової (а) та відомої (б) математичних моделей.

У таблиці 2 подано результати порівняння середньої абсолютної похибки прогнозування циклічного економічного процесу на основі нової та відомої його моделей.

Таблиця 2 Порівняння середньої абсолютної похибки прогнозування економічного ряду сезонного доходу Кримської області на основі нової та відомої моделей з рівнем довіри 0,95

Новий метод прогнозування	Відомий метод прогнозування
$z_{k_{\xi}} = 2968,656$ грн.	$z'_{k_{\xi}} = 4431,022$ грн.

Порівнюючи середню абсолютну похибки встановлено, що метод прогнозування циклічних економічних процесів на основі їх нової моделі у вигляді суми детермінованої поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу у порівнянні із методом прогнозування на основі відомої моделі у вигляді суми детермінованої функції тренду та періодичного випадкового процесу забезпечує вищу точність прогнозу. У результаті проведеної серії прогнозованих експериментів встановлено, що у середньому було підвищено точність прогнозування на 25 %.

На основі нових математичних моделей циклічних економічних процесів обґрунтовано та застосовано методи їх комп'ютерного імітаційного моделювання, а саме, метод імітації циклічного економічного процесу та метод імітації сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів. Структурно-функціональну схему методу імітаційного моделювання сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів подано на рисунку 8.

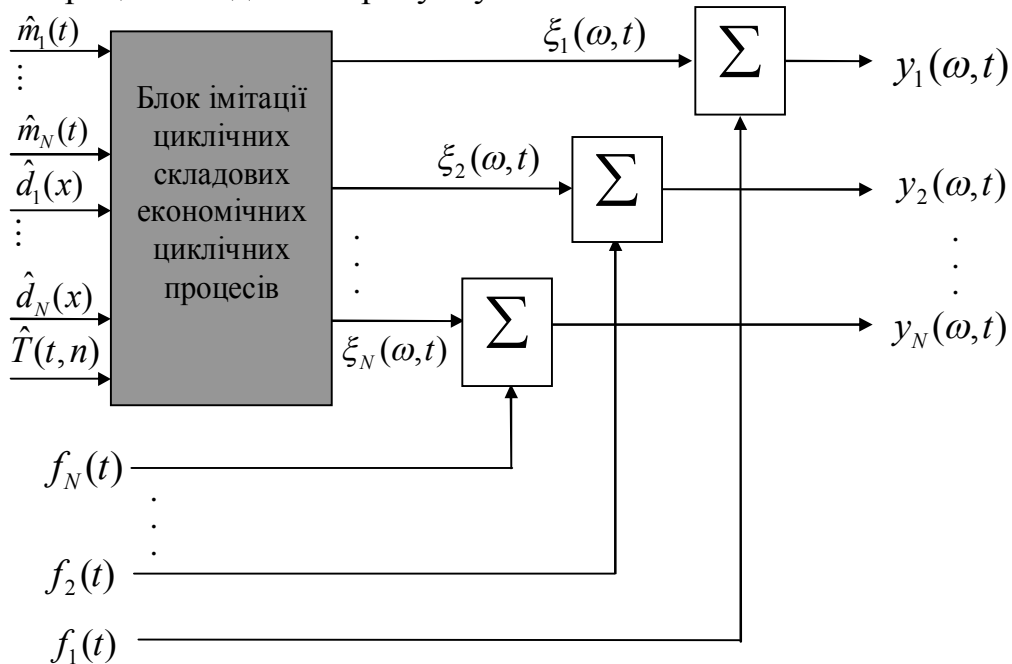


Рисунок 8 – Структурно-функціональна схема методу імітаційного моделювання сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів.

Як приклад на рисунку 9 подано результати імітаційного моделювання взаємопов'язаних циклічних економічних процесів, а саме індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США.

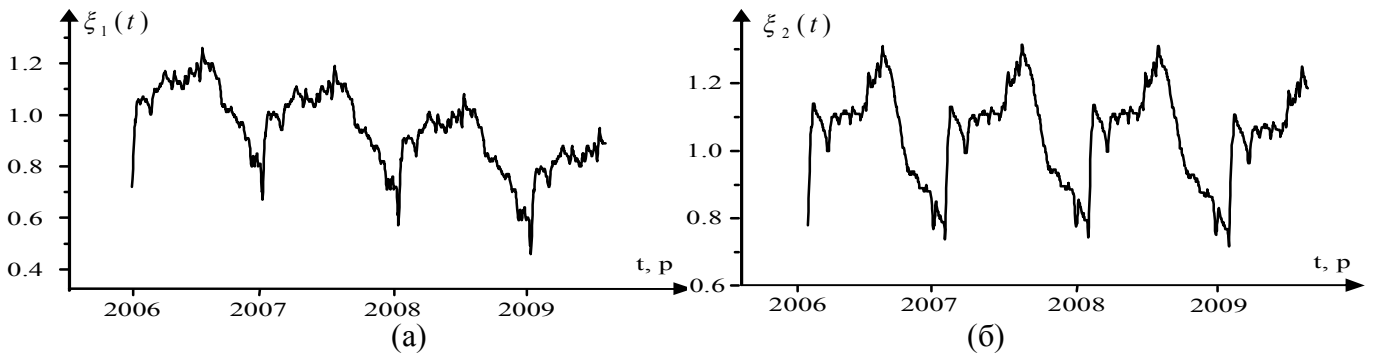


Рисунок 9 – Результати імітаційного моделювання взаємопов’язаних циклічних економічних процесів: 1) індекс активності нерухомого майна США (а), індекс активності рентного доходу США (б).

Обґрунтовані методи комп’ютерної імітації циклічних економічних процесів, завдяки наявності процедури ідентифікації алгоритму генерування, одночасного врахування морфологічних характеристик та характеристик ритму циклічних складових імітованих економічних процесів, підвищують точність та достовірність їх симуляції на ЕОМ.

У четвертому розділі створено програмну систему моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, наведено її архітектуру, структурні схеми та описано можливості цієї програмної системи.

Базуючись на розроблених у дисертації математичних моделях, методах аналізу, прогнозування та імітації циклічних економічних процесів, створено програмну систему їх моделювання, аналізу та прогнозування, що може застосовуватися як складова спеціалізованого програмного забезпечення інформаційної системи підтримки прийняття рішень на основі економетричних рядів циклічної структури. На рисунку 10а подано структуру процедури прийняття економічних рішень з використанням інформаційних систем підтримки прийняття рішень, а на рисунку 10б подано архітектуру створеної програмної системи.

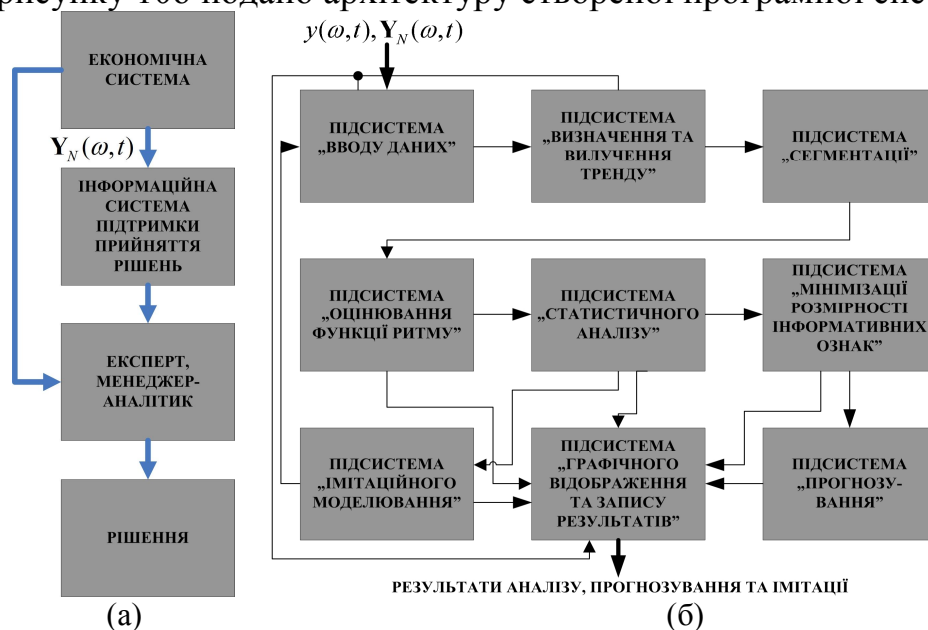


Рисунок 10 – Узагальнена структура процедури прийняття економічних рішень з використанням інформаційних систем підтримки прийняття рішень (а) та архітектура програмної системи моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів (б).



На підсистеми створеної програмної системи моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів отримано два свідоцтва на авторські твори.

Програмну систему верифіковано за рахунок імплементації усіх, передбачених переліком функціональних вимог, що висувалися до неї. На етапі атестації та апробації програмної системи було встановлено її відповідність сукупності висунутих нефункціональних вимог.

У додатках наведені таблиці аналізу математичних моделей, описані підходи до аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів із застосуванням інших математичних моделей, додаткові результати прогнозування циклічних економічних процесів, акти впровадження результатів дисертаційного дослідження та копії свідоцтв на авторські твори – комп'ютерні програми, що є складовими розробленої програмної систем для аналізу, імітації та прогнозування циклічних економічних процесів.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено важливе наукове завдання розроблення нових математичних моделей, методів аналізу, прогнозування та комп'ютерної імітації циклічних економічних процесів, з метою підвищення точності, достовірності та інформативності їх моделювання, аналізу та прогнозування в інформаційних системах підтримки прийняття рішень. Отримано такі наукові та практичні результати.

1. Розроблено та верифіковано нову математичну модель циклічних економічних процесів у вигляді суми детермінованої поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу, яка внаслідок одночасного врахування трендових складових, стохастичності, циклічності економічних процесів та мінливості ритму їх циклічних складових, дала змогу підвищити точність, достовірність методів та програмних засобів моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів у системах підтримки прийняття рішень.

2. Розроблено та верифіковано нову математичну модель сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у вигляді суми вектора детермінованих поліноміальних функцій та вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, що за рахунок відображення спільності та мінливості ритмічної структури їх циклічних складових, дало змогу обґрунтувати інформативні методи їх сумісного статистичного аналізу.

3. Обґрунтовано застосування методів статистичного оцінювання ймовірнісних характеристик циклічних випадкових процесів та векторів для розв'язування задачі аналізу циклічних економічних процесів, які завдяки урахуванню мінливості та спільності ритму їх циклічних складових, уможливили підвищення точності, достовірності та інформативності аналізу циклічних економічних процесів у системах підтримки прийняття рішень.

4. Розроблено метод прогнозування циклічних економічних процесів з урахуванням мінливості ритму їх циклічних складових, дало змогу підвищити

точність прогнозування у середньому на 25% при заданій (фіксованій) довірчій ймовірності (надійності) прогнозу.

5. Обґрунтовано та застосовано методи комп'ютерного імітаційного моделювання циклічних випадкових процесів та векторів для задачі імітації на ЕОМ циклічних економічних процесів, які завдяки наявності процедури ідентифікації алгоритму генерування, одночасного врахування морфологічних характеристик та характеристик ритму циклічних складових імітованих економічних процесів, підвищують точність та достовірність їх симуляції на ЕОМ.

6. Створено та впроваджено у практику програмну систему моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, на основі якої проведено апробацію результатів дисертаційного дослідження.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Горкуненко А. Б. Математичне моделювання економічних циклічних процесів для їх автоматизованого аналізу та прогнозу / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, А. М. Луцків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — Хмельницький: Вид-во ХНУ, 2010. — № 3. — С. 269–275.

2. Горкуненко А. Б. Математичне моделювання та статистичний сумісний аналіз взаємопов'язаних економічних циклічних процесів / А. Б. Горкуненко, А. М. Луцків, С. А. Лупенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — Хмельницький: Вид-во ХНУ, 2011. — №1. — С. 137–143.

3. Імітаційне моделювання взаємопов'язаних економічних циклічних процесів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Н. Р. Дем'янчук, Я. В. Литвиненко // Електроніка та системи управління. — К: НАУ, 2011. — №2. — С. 133–141.

4. Горкуненко А. Б. Програмна система підтримки прийняття економічних рішень / А. Б. Горкуненко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — Хмельницький: Вид-во ХНУ, 2012. — № 1. — С. 162–168.

5. Інформаційна технологія прогнозування циклічних економічних процесів / А. Горкуненко, Р. Козак, Я. Литвиненко [та ін.] // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. — Тернопіль: ТНТУ, 2012. — № 1. — С. 143–154.

6. Горкуненко А. Б. Порівняльний аналіз математичних моделей циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття економічних рішень / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Г. М. Осухівська // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. — Львів: НЛТУ, 2012. — Вип. 22.5. — С. 345–351.

7. Інформаційна технологія моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Г. М. Осухівська, Н. Б. Стадник // Вимірнювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький: ХНУ, 2012. — № 2. — С. 167–176.

8. Горкуненко А. Б. Обґрунтування діагностичних і прогностичних ознак в інформаційних системах аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів

/ А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. — Львів: НЛТУ, 2012. — Вип. 22.9. — С. 347–352.

9. С. а. № 38822 Україна. Комп'ютерна програма «Статистична обробка циклічних економічних процесів» (СОЕЦП) / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Я. В. Литвиненко. — заявл. 12.04.11; опубл. 15.12.11р., Бюл. № 25.

10. С. а. № 38823 Україна. Комп'ютерна програма «Моделювання циклічних економічних процесів» (МЦЕП) / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Я. В. Литвиненко. — заявл. 12.04.11; опубл. 15.12.11р., Бюл. № 25.

11. Лупенко С. Математичне моделювання циклічних економічних явищ на базі циклічного випадкового процесу для задач їх автоматизованого аналізу та прогнозу / С. Лупенко, А. Горкуненко // Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету ім. І. Пулюя, Тернопіль, 13–14 травня, 2009. — Тернопіль: ТДТУ, 2009. — С. 122.

12. Горкуненко А. Б. Імітаційне моделювання взаємопов'язаних економічних циклічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів АСІТ, Тернопіль, 20–21 травня 2011. — Тернопіль: Економічна думка, 2011. — С. 9.

13. Горкуненко А. Б. Комп'ютерна система автоматизованого аналізу, прогнозу та імітації циклічних економічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // Матеріали I науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, Тернопіль, 20 травня 2011. — Тернопіль: ТНТУ, 2011. — С. 38.

14. Горкуненко А. Б. Математичне моделювання циклічних економічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // XVII International Conference Problems of decision making under uncertainties, Skhidnytsia, May 23–27, 2011. — Kiev: Taras Shevchenko National University, 2011. — P. 57.

15. Горкуненко А. Б. Моделювання економічних циклічних процесів для задач їх автоматизованого аналізу та прогнозу / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // Proceedings of International conference on science and technology «SAIT 2011», Kyiv, May 23–28, 2011. — Kyiv: ESC “IASA” NTUU “KPI”, 2011. — P. 226.

16. Горкуненко А. Б. Інформаційна система для аналізу, прогнозу та імітації економічних циклічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // XVIII International Conference Problems of decision making under uncertainties, Yalta, September 19–23, 2011. — Kiev: Taras Shevchenko National University, 2011. — С. 62.

17. Горкуненко А. Б. Прогнозування циклічних економічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. Лупенко // Матеріали XV наукової конференції ТНТУ імені Івана Пулюя, Тернопіль, 14–15 грудня 2011. — Тернопіль: ТНТУ, 2011. — С. 69.

18. Горкуненко А. Б. Математичне моделювання та інформаційні технології в задачах аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко // XIX International Conference Problems of decision making under uncertainties, Mukachevo, April 23–27, 2012. — Kiev: Taras Shevchenko National University, 2012. — P. 86.

19. Горкуненко А. Математичні моделі циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття економічних рішень / А. Горкуненко, С. Лупенко // Матеріали ІІ науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 25 квітня 2012. — Тернопіль: ТНТУ, 2012. — С. 16.

## АНОТАЦІЯ

**Горкуненко А.Б. Моделювання та методи аналізу і прогнозування циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень. – Рукопис.**

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки) – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2013 р.*

Дисертацію присвячено розробленню математичних моделей, методів аналізу, комп'ютерної імітації та прогнозування циклічних економічних процесів.

Розроблено нову математичну модель циклічних економічних процесів у вигляді суми детермінованої поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу. Розроблено нову математичну модель сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у вигляді суми вектора детермінованих поліноміальних функцій та вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів.

Обґрунтовано методи статистичного опрацювання циклічних економічних процесів на основі нових математичних моделей. Розроблено метод прогнозування циклічних економічних процесів. Досягнуто підвищення точності їх прогнозування на 25% у порівнянні з відомим методом прогнозування при заданій довірчій ймовірності прогнозування. Обґрунтовано та застосовано методи імітаційного моделювання циклічних економічних процесів на ЕОМ.

Розроблено програмну систему моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, що може бути складовою інформаційної системи підтримки прийняття рішень, проведено її атестацію та апробацію.

*Ключові слова:* циклічний економічний процес, математична модель, статистичні оцінки, імітаційне моделювання, метод прогнозування.

## АННОТАЦИЯ

**Горкуненко А.Б. Моделирование и методы анализа и прогнозирования циклических экономических процессов в информационных системах поддержки принятия решений. – Рукопись.**

*Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы (технические науки) – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2013 г.*

Диссертация посвящена разработке математических моделей, методов анализа, имитации и прогнозирования циклических экономических процессов с целью повышения точности, достоверности и информативности их моделирования, анализа и прогнозирования в информационных системах поддержки принятия решений.

Рассмотрены существующие подходы, математические модели, методы анализа и прогнозирования циклических экономических процессов, приведены их основные недостатки. Составлено сравнительную таблицу математических моделей циклических экономических процессов.

Разработана и верифицирована новая математическая модель циклических экономических процессов в виде суммы детерминированной полиномиальной функции и циклического случайного процесса, которая в результате одновременного учета трендовых составляющих, стохастичности, цикличности экономических процессов и изменчивости ритма их циклических составляющих, позволила повысить точность, достоверность методов и программных средств моделирования, анализа и прогнозирования циклических экономических процессов в системах поддержки принятия решений. Разработана и верифицирована новая математическая модель совокупности взаимосвязанных циклических экономических процессов в виде суммы вектора детерминированных полиномиальных функций и вектора циклических ритмично связанных случайных процессов, которая за счет отражения общности и изменчивости ритмической структуры их циклических составляющих, позволила обосновать информативные методы их совместного статистического анализа.

Обоснованы методы статистической обработки циклических экономических процессов на основании новых математических моделей, учитывающих цикличность, изменчивость и общность ритма циклических составляющих экономических процессов. Разработан подход к статистическому анализу взаимосвязанных циклических экономических процессов на основании модели в виде суммы детерминированных функций и вектора циклических ритмично связанных случайных процессов.

Обоснован метод разложения статистических оценок циклических экономических процессов в ряды Фурье (одномерные и двумерные) чем существенно уменьшено размерность пространства информативных (диагностических и прогностических) признаков в системах поддержки принятия решений.

Разработан метод прогнозирования циклических экономических процессов. Достигнуто повышение точности прогнозирования циклических экономических процессов на 25% на основании нового метода прогнозирования по сравнению с известным при одинаковой доверительной вероятности прогнозирования.

Обоснованы и применены методы компьютерного имитационного моделирования циклических случайных процессов и векторов для задачи имитации на ЭВМ циклических экономических процессов, которые благодаря наличию процедуры идентификации алгоритма генерирования, одновременного учета морфологических характеристик и характеристик ритма циклических составляющих

имитируемых экономических процессов, повышают точность и достоверность их симуляции на ЭВМ.

Разработана программная система моделирования, анализа и прогнозирования циклических экономических процессов, которая может быть составляющей информационной системы поддержки принятия решений, проведено ее аттестацию и апробацию. Установлен факт соответствия программной системы моделирования, анализа и прогнозирования циклических экономических процессов поставленным задачам и требованиям, а также на компоненты данной системы получены авторские свидетельства.

*Ключевые слова:* циклический экономический процесс, математическая модель, статистические оценки, имитационное моделирование, метод прогнозирования.

## ABSTRACT

**Horkunenko A.B. Modeling and analysis techniques and forecasting of cyclical economic processes in information decision support systems. - Manuscript.**

*Dissertation is submitted for the scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) in specialism 01.05.02 - mathematic modeling and calculating methods – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2013.*

The thesis is devoted to development of mathematical models and methods of analysis, computer simulation and forecasting of cyclical economic processes.

A new mathematical model of cyclical economic processes as a sum of deterministic polynomial functions and cyclic stochastic process is created. A new mathematical model is a set of interrelated cyclical economic processes as a sum vector of deterministic polynomial functions and vector cyclic rhythmically related random processes is created.

Methods of statistical processing of cyclical economic processes based on new mathematical models are proved. The method of forecasting of cyclical economic processes is developed. An increase of their forecasting accuracy by 25% compared with the known method of predicting a given confidence level forecasting. Methods of simulation of cyclical economic processes on the computer are proved and applied.

The software system for modeling, analysis and forecasting of cyclical economic processes is developed and tested. It may be a part of an information system decision support.

*Keywords:* cyclic economic process, mathematical model, statistical evaluation, simulation, forecasting method.