

*Інформаційна технологія прогнозування циклічних економічних процесів / Горкуненко А., Козак Р., Литвиненко Я. [та ін.] // Вісник ТНТУ. — 2012. — Том 65. — № 1. — С.143-153. — (приладобудування та інформаційно-вимірвальні технології).*

УДК 338.27

**А. Горкуненко<sup>1</sup>; Р. Козак<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
Я. Литвиненко<sup>1</sup>, канд. техн. наук; С. Лупенко<sup>1</sup>, докт. техн. наук;  
Ю. Нікольський<sup>2</sup>, докт. техн. наук**

<sup>1</sup>*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*  
<sup>2</sup>*Національний університет «Львівська політехніка»*

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

***Резюме.** Розроблено інформаційну технологію прогнозування циклічних економічних процесів, яка характеризується більшою точністю у порівнянні із відомими методами прогнозування на базі теорії періодичних випадкових процесів. Представлено результати прогнозу індексу маркетингу та реклами США на 2011р. і його циклічної компоненти на основі моделі у вигляді циклічного випадкового процесу та періодичного випадкового процесу.*

***Ключові слова:** циклічний економічний процес, модель, інформаційна технологія, прогноз*

**A. Horkunenko, R. Kozak, Y. Lytvynenko, S. Lupenko, U. Nikolsky**

## **INFORMATION TECHNOLOGY FORECASTING CYCLICAL ECONOMIC PROCESSES**

***The summary.** The information technology of cyclical economic forecasting processes was designed and characterized with greater accuracy in comparison with the known methods of forecasting based on the theory of periodic random processes. The forecast results of the USA marketing and advertising indexes were presented in 2011 and its cyclical component based on the model in cyclic and periodic form of random process.*

***Keywords:** cyclical economic process, model, information technology, forecast*

**Постановка проблеми.** Розроблення новітніх інформаційних систем та технологій для задач автоматизованого аналізу та прогнозу циклічних економічних процесів є важливою науковою проблемою, вирішення якої сприяє інтенсифікації процесу прийняття економічних рішень та підвищує рівень їх об'єктивності. Важливим етапом розроблення інформаційних систем підтримки прийняття економічних рішень за циклічними економічними процесами є створення інформаційної технології їх прогнозування. Не зважаючи на велику кількість розроблених інформаційних технологій, математичних моделей, методів аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів, має місце низька точність та достовірність їх прогнозування. Тому розроблення нових методів та інформаційних технологій прогнозування циклічних економічних процесів залишається актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачам математичного моделювання та методам аналізу, прогнозування циклічних економічних процесів присвячена велика кількість наукових праць. Більшість із них ґрунтуються на застосуванні стохастичної концепції дослідження циклічних економічних процесів. У роботі [1] Слуцький для аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів застосовував їх модель у вигляді стаціонарного випадкового процесу, такі вчені як Tiao, Grupe, Todd, Osborn, Osborn, Smith, Hansen, Sargent, Царук О.В., Музиченко А.С., Невзоров А.В., Журило С.В., Рибак О.Д., Анисимов В.Н., Соломахо К.Л. застосовували стохастично-періодичні моделі авторегресії та ковзного середнього [2–5], а дослідники Ghysels, Hamilton, Garcia, Perron, Phillips, McCulloch, Tsay, Albert, Chib, Чабаненко Д.М. використовували періодичні ланцюги Маркова [6–8]. У роботах [9] та [10] було проведено обґрунтування нової моделі циклічних економічних процесів у вигляді суми

поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу, а також розроблено методи їх статистичного аналізу. Даний підхід за рахунок відображення у моделі змінного ритму циклічної складової економічного процесу, уможливив підвищення точності методів статистичного аналізу циклічних економічних процесів.

**Мета роботи.** Враховуючи наведене вище, доцільним є розробити інформаційну технологію прогнозування циклічних економічних процесів, яка б ґрунтувалася на раніше розробленій математичній моделі у вигляді суми поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу й давала б змогу будувати проноз з більшою точністю у порівнянні з відомими методами, які ґрунтуються на концепції стохастичної періодичності.

**Постановка задачі.** Для досягнення мети роботи, необхідно розробити метод прогнозування циклічних економічних процесів та відповідне програмне забезпечення. Також необхідно здійснити порівняння нового методу прогнозування з відомими.

**Результати дослідження.** Вперше, у роботі [9] як математичну модель циклічних економічних процесів, запропоновано використовувати випадковий процес

$$y(\omega, t) = f(t) + \xi(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in \mathbf{R}, \quad (1)$$

де  $\xi(\omega, t)$  – циклічний випадковий процес як модель циклічної компоненти економічного процесу;  $f(t)$  – детермінована функція, що відображає тренд циклічного економічного процесу,

$$f(t) = \sum_{n=0}^3 c_n \cdot t^n, t \in \mathbf{R}, \quad (2)$$

де  $c_n$  – коефіцієнт поліноміальної функції (2).

Згідно з роботою [9] сепарабельний випадковий процес  $\xi(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in \mathbf{R}$ , називається циклічним випадковим процесом неперервного аргументу, якщо існує така функція  $T(t, n)$ , яка задовольняє умовам функції ритму, що скінченновимірні вектори  $(\xi(\omega, t_1), \xi(\omega, t_2), \dots, \xi(\omega, t_k))$  та  $(\xi(\omega, t_1 + T(t_1, n)), \xi(\omega, t_2 + T(t_2, n)), \dots, \xi(\omega, t_k + T(t_k, n)))$ ,  $n \in \mathbf{Z}$ , де  $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  – множина сепарабельності процесу  $\xi(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in \mathbf{R}$ , при всіх цілих  $k \in \mathbf{N}$  є стохастично еквівалентними у широкому розумінні.

Функція ритму  $T(t, n)$  визначає закон зміни часових інтервалів між однофазними (однаково розподіленими) значеннями циклічного випадкового процесу. Функція  $T(t, n)$  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  $n < 0, t \in \mathbf{R}$ .

(3)

2. Для будь-яких  $t_1 \in \mathbf{R}$  та  $t_2 \in \mathbf{R}$ , 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  $(|T(t, n)| \leq |T_\gamma(t, n)|)$  серед усіх таких функцій  $\{T_\gamma(t, n)\}, \gamma \in \Gamma$ , які задовольняють (3) та (4).

Для циклічного випадкового процесу неперервного аргументу, характерно те, що сімейство його узгоджених функцій розподілу задовольняє наступним рівностям:

$$F_{k_\xi}^*(x_1, \dots, x_k, t_1, \dots, t_k) = F_{k_\xi}^*(x_1, \dots, x_k, t_1 + T(t_1, n), \dots, t_k + T(t_k, n)), \quad (5)$$

$$x_1, \dots, x_k, t_1, \dots, t_k \in \mathbf{R}, n \in \mathbf{Z}, k \in \mathbf{N}.$$

Іншими словами, циклічний випадковий процес – це такий випадковий процес, сімейство функцій розподілу якого є інваріантним до зліченної циклічної розривної групи перетворень  $\Gamma = \{T(t, n), n \in \mathbf{Z}\}$ , що повністю визначаються функцією ритму  $T(t, n)$ . Якщо  $T(t, n) = n \cdot T, T = \text{const}, T > 0$ , то будемо мати випадковий циклічний процес із стабільним ритмом або стохастично  $T$  – періодичний процес. Якщо  $T(t, n) \neq n \cdot T$ , то будемо мати циклічний випадковий процес зі змінним ритмом.

Використання стохастичної моделі (1) для опису циклічних економічних процесів дало змогу застосувати методи їх статистичного аналізу, що дозволило врахувати зміни ритму циклічного економічного процесу і тим самим усунути негативний ефект розмивання статистичних характеристик процесу, який має місце при застосуванні відомих методів статистичного аналізу на базі моделі у вигляді періодичного випадкового процесу.

Першим етапом обробки циклічних економічних процесів є процедура розділення функції тренду  $\{f(t), t \in \mathbf{R}\}$  та циклічної компоненти  $\{\xi(\omega, t), \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{R}\}$ . Процедура вилучення тренду полягає у використанні методу найменших квадратів, що описано в роботі [10].

Циклічна компонента визначалась шляхом віднімання функції тренду  $f(t)$  від циклічного економічного процесу  $y(\omega, t)$ , а саме:

$$\xi(\omega, t) = y(\omega, t) - f(t), \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{R}. \quad (6)$$

Згідно з роботою [9] реалізації статистичних оцінок ймовірнісних характеристик циклічного випадкового процесу, які отримано із  $M$  - циклів його реалізації  $\xi_{\omega}(t)$ , мають такий вигляд:

Статистична оцінка математичного сподівання

$$\hat{m}_{\xi}(t) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_{\omega}(t + T(t, 1)), t \in \mathbf{W}_{c_1}, \quad (7)$$

де  $\mathbf{W}_{c_1}$  – область визначення 1-го циклу циклічної компоненти.

Статистична оцінка дисперсії

$$\hat{d}_{\xi}(t) = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{n=0}^{M-1} \left[ \xi_{\omega}(t + T(t, 1)) - \hat{m}_{\xi}(t + T(t, 1)) \right]^2, t \in \mathbf{W}_{c_1}. \quad (8)$$

Оцінювання функції ритму  $\hat{T}(t, n)$  проводилося шляхом сегментації та інтерполяції циклічного економічного процесу, згідно роботи [10].

Результатом прогнозування циклічної компоненти економічного процесу на базі моделі у вигляді циклічного випадкового процесу є множини інтервалів довіри  $Y \in [\gamma_1(t), \gamma_2(t)]$ , які обчислюються, виходячи із гіпотези про нормальність закону розподілу значень циклічного економічного процесу, про що опубліковано у багатьох роботах, зокрема у роботі [11]. Таким чином, верхня межа інтервалу довіри дорівнює

$$\gamma_1(t) = \hat{m}_{\xi}(t) + 3\sqrt{\hat{d}_{\xi}(t)}. \quad (9)$$

Нижня межа інтервалу довіри дорівнює

$$\gamma_2(t) = \hat{m}_{\xi}(t) - 3\sqrt{\hat{d}_{\xi}(t)}. \quad (10)$$

Внаслідок нормальності розподілу значень циклічної компоненти економічного процесу з ймовірністю 0,997 інтервал  $Y \in [\gamma_1(t), \gamma_2(t)]$  накриває відповідні значення циклічної компоненти економічного процесу.

Результатом прогнозування циклічного економічного процесу на базі моделі у вигляді суми циклічного випадкового процесу та функції тренду є множини інтервалів довіри  $\Upsilon \in [\gamma_1(t) + f(t), \gamma_2(t) + f(t)]$ , які обчислюються наступним чином:

Верхня межа інтервалу довіри дорівнює

$$\gamma_1(t) = \hat{m}_\xi(t) + 3\sqrt{\hat{d}_\xi(t)} + f(t). \quad (11)$$

Нижня межа інтервалу довіри дорівнює

$$\gamma_2(t) = \hat{m}_\xi(t) - 3\sqrt{\hat{d}_\xi(t)} + f(t). \quad (12)$$

На рисунку 1 подано структурну схему методу прогнозування циклічного економічного процесу на основі суми циклічного випадкового процесу та функції тренду, а також як проміжної стадії прогнозування – циклічної компоненти економічного процесу на основі моделі циклічного випадкового процесу.

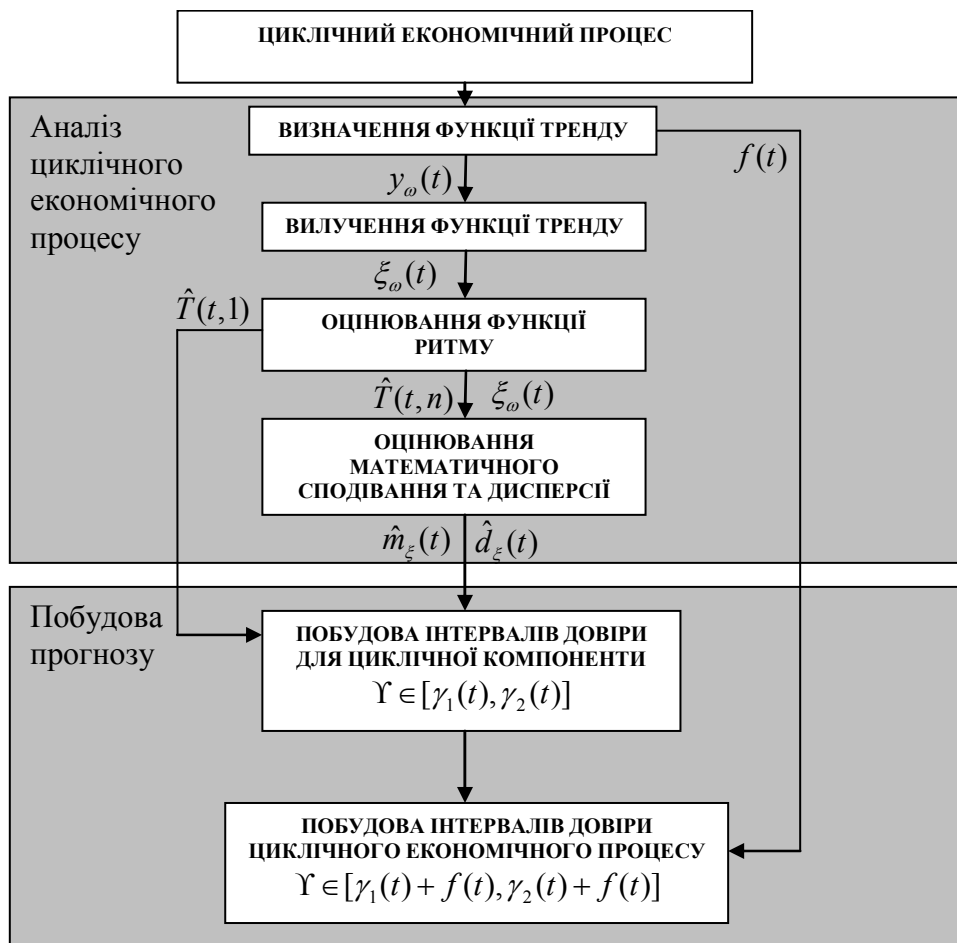


Рисунок 1. Структурна схема методу прогнозування циклічного економічного процесу та циклічної компоненти на базі моделі у вигляді суми циклічного випадкового процесу та функції тренду

Даний метод був втілений у програмне забезпечення, яке розроблено у середовищі Delphi.

Здійснено порівняння розробленого методу прогнозування циклічного економічного процесу з відомим методом, що ґрунтується на моделі у вигляді:

$$y'(\omega, t) = f(t) + \xi'(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in \mathbf{R}, \quad (13)$$

де  $\xi'(\omega, t)$  – періодичний випадковий процес як модель циклічної компоненти економічного процесу;  $f(t)$  – детермінована функція, що відображає тренд.

Реалізації статистичних оцінок ймовірнісних характеристик періодичного випадкового процесу, отриманих на основі стохастичної обробки шляхом усереднення через період  $T$  реалізації  $\xi'_\omega(t)$  обчислюються наступним чином:

Статистична оцінка математичного сподівання

$$\hat{m}'_\xi(t) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi'_\omega(t + T \cdot n), t \in [0, T]. \quad (14)$$

де  $T$  – величина періоду.

Статистична оцінка дисперсії

$$\hat{d}'_\xi(t) = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{n=0}^{M-1} \left[ \xi'_\omega(t + T \cdot n - \hat{m}'_\xi(t + T \cdot n)) \right]^2, t \in [0, T]. \quad (15)$$

Результатом прогнозування циклічного економічного процесу на базі моделі у вигляді періодичного процесу є множини інтервалів довіри  $\Upsilon \in [\gamma'_1(t), \gamma'_2(t)]$ , які обчислюють наступним чином. Верхня межа інтервалу довіри дорівнює

$$\gamma'_1(t) = \hat{m}'_\xi(t) + 3\sqrt{\hat{d}'_\xi(t)}. \quad (16)$$

Нижня межа інтервалу довіри дорівнює

$$\gamma'_2(t) = \hat{m}'_\xi(t) - 3\sqrt{\hat{d}'_\xi(t)}. \quad (17)$$

Результатом прогнозування циклічного економічного процесу на базі моделі (13) є побудова множини інтервалів довіри  $\Upsilon \in [\gamma'_1(t) + f(t), \gamma'_2(t) + f(t)]$ , які обчислюють наступним чином. Верхній інтервал довіри

$$\gamma'_1(t) = \hat{m}'_\xi(t) + 3\sqrt{\hat{d}'_\xi(t)} + f(t). \quad (18)$$

Нижній інтервал довіри

$$\gamma'_2(t) = \hat{m}'_\xi(t) - 3\sqrt{\hat{d}'_\xi(t)} + f(t). \quad (19)$$

Структурна схема методу інформаційної технології прогнозування циклічного економічного процесу на основі моделі (13), а також як проміжної стадії прогнозування – циклічної компоненти економічного процесу на основі моделі періодичного випадкового процесу є аналогічною до структурної схеми алгоритму інформаційної технології прогнозування циклічного економічного процесу на основі моделі (1). Різниця лише у тому, що замість оцінювання функції ритму відбувається оцінювання періоду циклічної компоненти економічного процесу.

З метою порівняння точності прогнозування циклічного економічного процесу згідно із двома описаними вище підходами проведено обчислення середньої за цикл

абсолютної за цикл похибки  $z_{k_\xi}$  прогнозування при застосуванні нового методу прогнозування, та середньої абсолютної похибки  $z'_{k_\xi}$  прогнозування при застосуванні відомого методу прогнозування, а саме ці похибки обчислено згідно з формулами

$$z_{k_\xi} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{\gamma_1(t_i) - \gamma_2(t_i)}{2}}{N}, t \in \mathbf{W}_{c_1} = t_i \in \mathbf{W}_{c_1}, \quad (20)$$

$$z'_{k_\xi} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{\gamma'_1(t_i) - \gamma'_2(t_i)}{2}}{T}, t_i \in [0, T]. \quad (21)$$

### Результати експериментів

#### Прогноз на 2011р. циклічної компоненти індексу маркетингу та реклами США на основі моделі у вигляді циклічного випадкового процесу

На рисунку 2 зображено циклічний економічний процес та виділена його функція тренду.

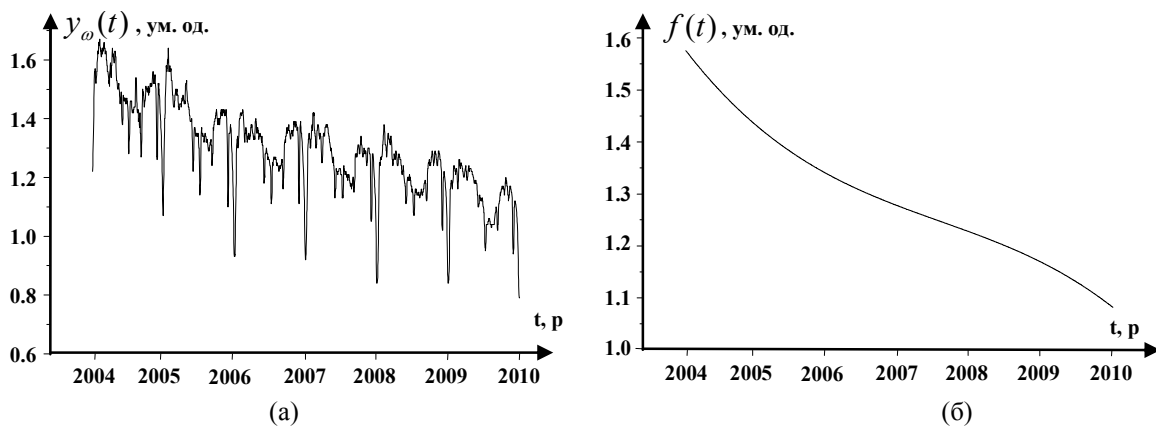


Рисунок 2. Індекс показників маркетингу та реклами США та його функція тренду:  
а) реалізація циклічного економічного процесу; б) функція тренду

На рисунку 3 зображено циклічну компоненту економічного процесу, яку отримано за формулою (6) та оцінку її функції ритму.

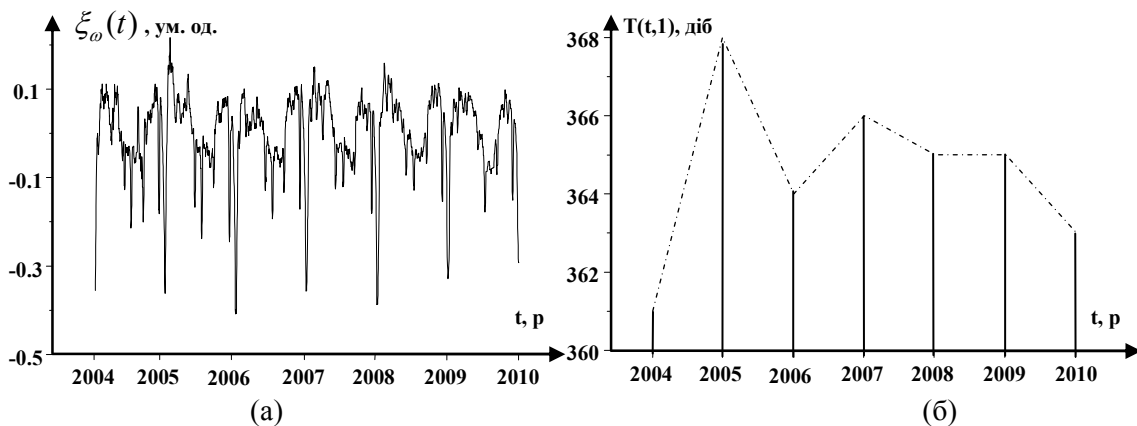


Рисунок 3. Представлення індексу показників маркетингу та реклами США: а) циклічна компонента; б) функція ритму (пунктирною лінією позначена неперервна функція ритму)

На рисунку 4 наведено оцінки математичного сподівання  $\hat{m}_\xi(t)$  та дисперсії  $\hat{d}_\xi(t)$ , що отримані згідно з формулами (7) та (8), які є вхідними даними для побудови інтервалів довіри циклічної компоненти.

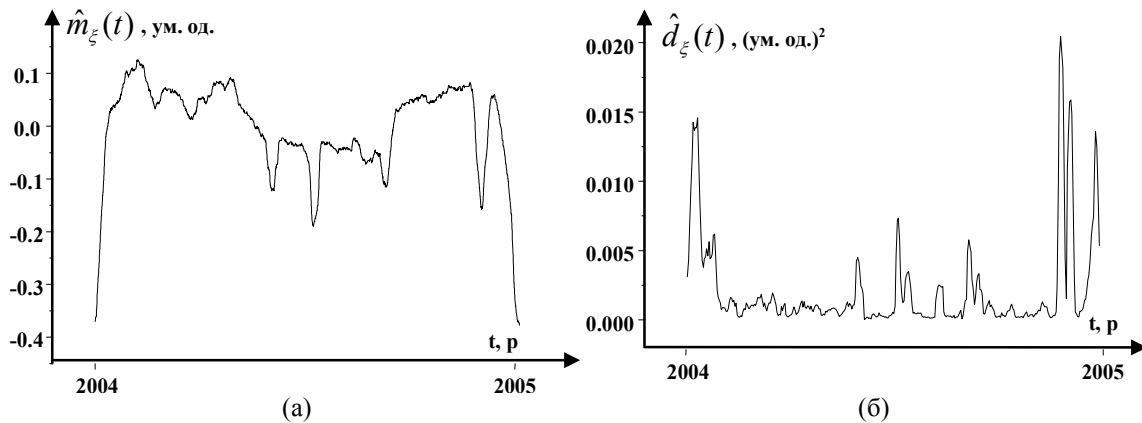


Рисунок 4. Статистичні оцінки циклічної компоненти індексу показників маркетингу та реклами США: а) оцінка математичного сподівання; б) оцінка дисперсії

На рисунку 5 подано функцію ритму з прогнозованим її значенням на 2011р.

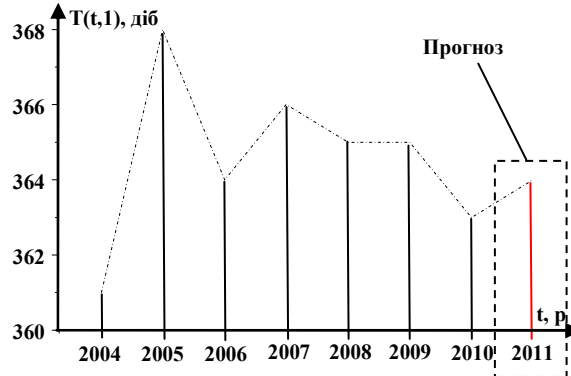


Рисунок 5. Функція ритму індексу показників маркетингу та реклами США прогнозованим значенням на 2011р.

За формулами (9) та (10) із врахуванням функції ритму з прогнозованим значенням на 2011р., оцінок математичного сподівання  $\hat{m}_\xi(t)$  та дисперсії  $\hat{d}_\xi(t)$  побудовано інтервали довіри  $Y \in [\gamma_1(t), \gamma_2(t)]$  циклічної компоненти економічного процесу (результати подано на рис. 6).

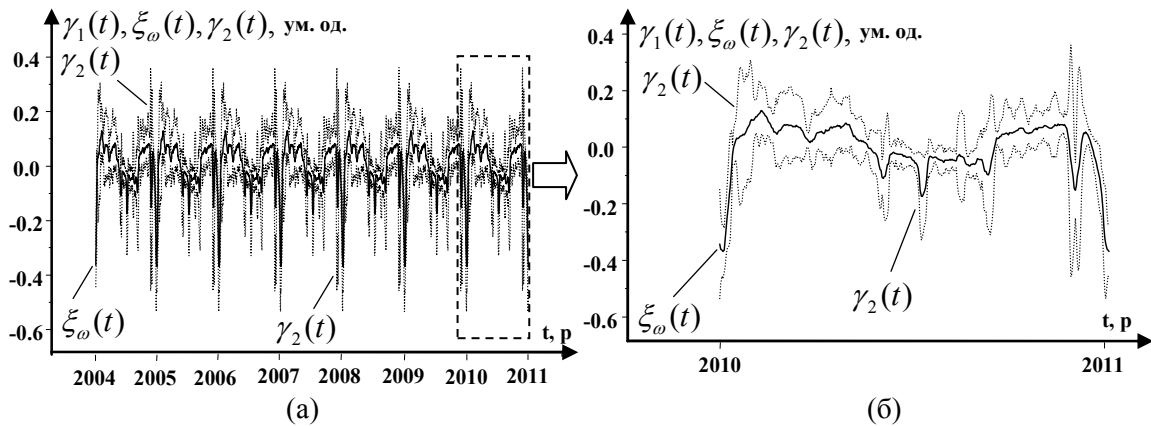


Рисунок 6. Інтервали довіри циклічної компоненти індексу показників маркетингу та реклами США: а) для всієї реалізації процесу з прогнозованим циклом на 2011р.; б) для прогнозованого циклу на 2011р.

**Прогноз на 2011р. індексу маркетингу та реклами США на основі моделі у вигляді суми циклічного випадкового процесу та функції тренду**

За формулами (11) та (12) з урахуванням функції ритму з прогнозованим значенням на 2011р. (див. рис. 5), оцінок математичного сподівання  $\hat{m}'_\xi(t)$  та дисперсії  $\hat{d}'_\xi(t)$  (див. рис. 4), побудовано інтервали довіри  $Y \in [\gamma_1(t) + f(t), \gamma_2(t) + f(t)]$  з урахуванням функції тренду (результати представлені на рисунку 7).

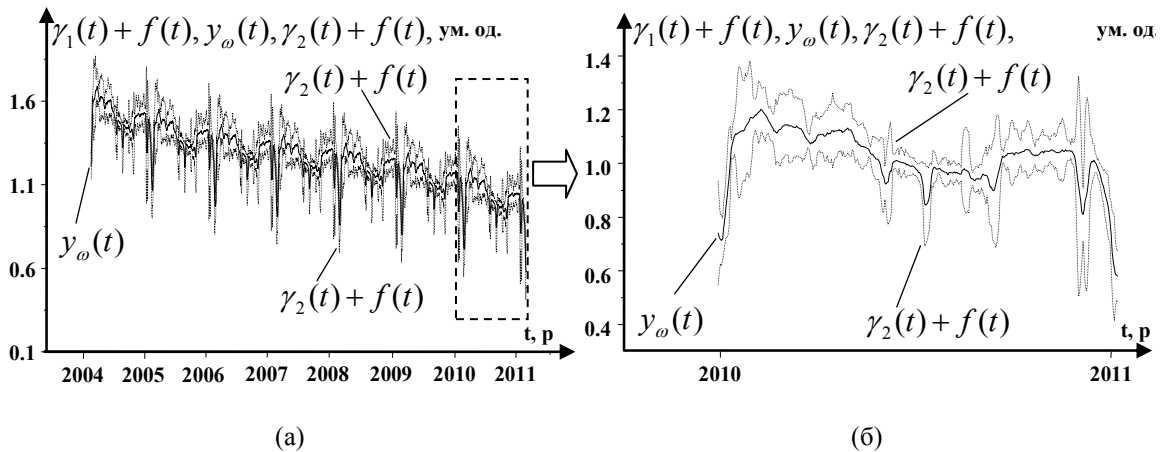


Рисунок 7. Інтервали довіри індексу показників маркетингу та реклами США: а) для всієї реалізації процесу з прогнозованим циклом на 2011р.; б) прогнозованого циклу на 2011р.

**Прогноз на 2011р. індексу маркетингу та реклами США на основі періодичного випадкового процесу**

На рисунку 8 подано оцінку математичного сподівання та оцінку дисперсії циклічного економічного процесу на базі періодичного випадкового процесу, які обчислені згідно з формулами (14) та (15). Оцінене значення періоду:  $T = 365$ .



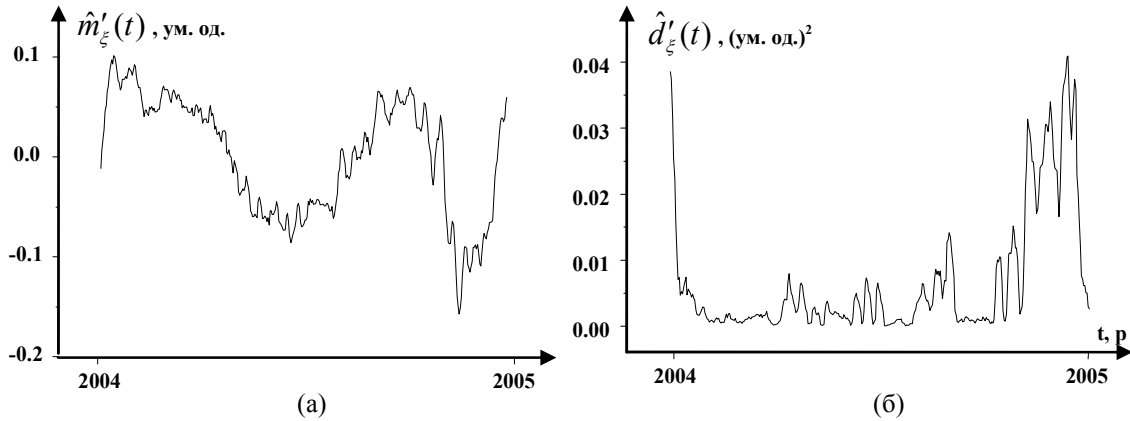


Рисунок 8. Статистичні оцінки циклічної компоненти індексу показників маркетингу та реклами США: а) математичного сподівання; б) дисперсії

За формулами (16) та (17) з урахуванням оцінки періоду, оцінок математичного сподівання  $\hat{m}'_{\xi}(t)$  та дисперсії  $\hat{d}'_{\xi}(t)$ , побудовано інтервал довіри (результати представлені на рисунку 9). З ймовірністю 0,997 значення реалізації циклічної компоненти випадкового циклічного процесу попадає в множину інтервалів довіри.

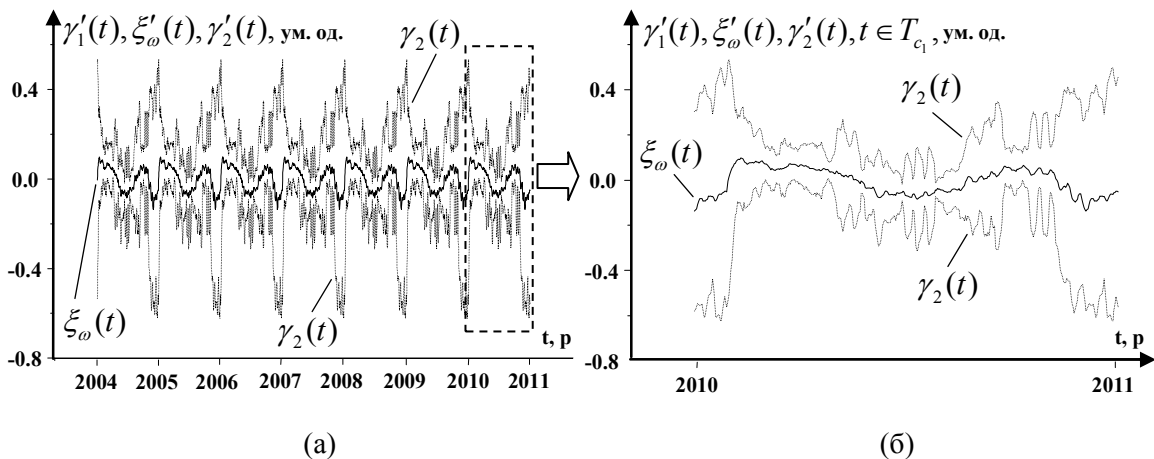


Рисунок 9. Інтервали довіри циклічної компоненти індексу показників маркетингу та реклами США: а) для всієї реалізації процесу з прогнозованим циклом на 2011р.; б) прогнозованого циклу на 2011р.

**Прогноз на 2011р. індексу маркетингу та реклами США на основі моделі у вигляді суми періодичного випадкового процесу та функції тренду**

За формулами (18) та (19) з урахуванням значення періоду, оцінок математичного сподівання  $\hat{m}'_{\xi}(t)$  та дисперсії  $\hat{d}'_{\xi}(t)$  (див. рис. 8) побудовано інтервали довіри  $Y \in [\gamma'_1(t) + f(t), \gamma'_2(t) + f(t)]$  з урахуванням функції тренду, результати наведено на рисунку 10.

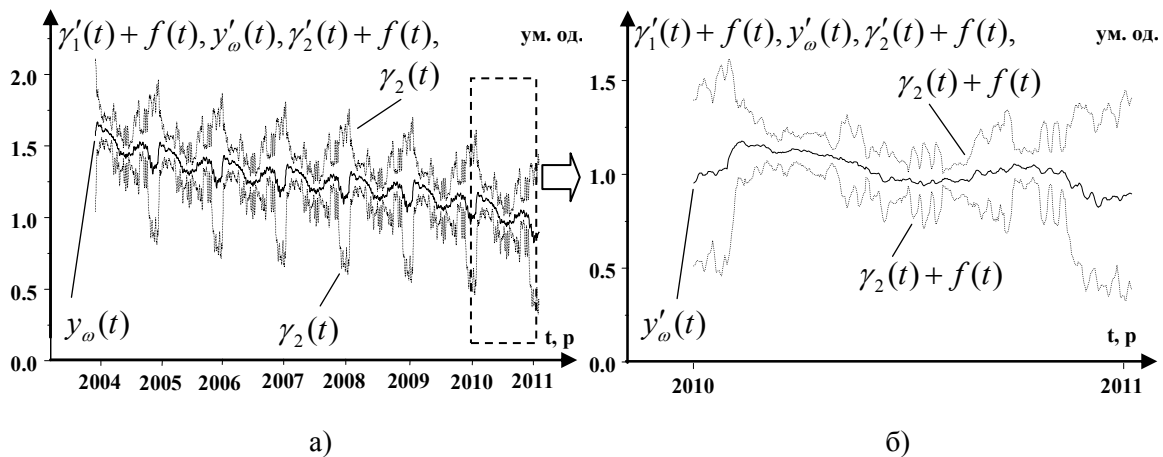


Рисунок 10. Інтервали довіри індексу показників маркетингу та реклами США: а) для всієї реалізації процесу з прогнозованим циклом на 2011р.; б) для прогнозованого циклу на 2011р.

### Порівняння результатів прогнозу на базі нової та відомої моделей циклічного економічного процесу

У таблиці 1 представлені результати порівняння середньої абсолютної похибки циклічного економічного процесу на основі нової та відомої моделей циклічного економічного процесу, які обчислювалися за формулами (20) та (21).

Таблиця 1 – Порівняння середньої абсолютної похибки областей довіри індексу показників маркетингу та реклами США на основі моделі у вигляді циклічного випадкового процесу та періодичного випадкового процесу

Новий метод прогнозування	Відомий метод прогнозування
$z_{k_{\varepsilon}} = 0,04$ , ум. од.	$z'_{k_{\varepsilon}} = 0,1$ , ум. од.

Порівнюючи середню абсолютну похибку виявлено, що довірчі інтервали на основі моделі (1) у порівнянні із довірчими інтервалами на основі моделі (13) дають більшу точність прогнозу.

**Висновки.** Розроблено нову інформаційну технологію прогнозування циклічних економічних процесів на базі їх нової математичної моделі у вигляді суми циклічного випадкового процесу та функції тренду, що доповнює ряд існуючих підходів стохастичного прогнозування циклічних економічних процесів. Встановлено факт підвищення точності прогнозу на основі розробленої інформаційної технології у порівнянні з відомими методами прогнозування циклічних економічних процесів на базі їх стохастично періодичних моделей. У подальших наукових дослідженнях важливим науковим завданням є розроблення інформаційної технології прогнозування сукупності взаємозалежних циклічних економічних процесів.

### Список використаної літератури

1. E. Slutskii The summation of random causes as the source of cyclic processes / E. Slutskii // *Econometrica*. – 1927[1937]. – Vol. 5, № 3. – pp. 105–106.
2. Todd R.M. Periodic linear-quadratic models of seasonality / R.M. Todd // *J. Econom. Dyn. Control* 14. – 1990. – Vol. 14, № 3–4. – pp. 763–796.
3. Царук О.В. Статистичне прогнозування державного боргу України на основі процесів Бокса – Дженкінса [Текст] / О.В. Царук // *Проблеми статистики* : [зб. наук. праць]. – К. : НТК статистичних досліджень Держкомстату України. – 2007. – Вип. 8. – С. 247–253.

4. Музиченко А.С. Побудова короткострокового прогнозу розвитку агропромислового виробництва (АПВ) з використанням методики Бокса-Дженкінса [Текст] / А.С. Музиченко, А.В. Невзоров, С.В. Журило, О.Д. Рибак // Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету. – 2009. – Вип. 71. – Ч. 2: Економіка. – С. 99–107.
5. Анисимов В.Н. Об эффективности модели ARIMA при прогнозировании экономических процессов [Текст] / В.Н. Анисимов, К.Л. Соломахо // Известия Челябинского научного центра. – 2009. – № 2. – С. 44–48.
6. E. Ghysels On the periodic structure of the business cycle / E. Ghysels // Journal of Business & Economic Statistics. – 1994. – Vol. 12, № 3 – pp. 289–298.
7. Чабаненко Д.М. Алгоритм прогнозування фінансових часових рядів на основі складних ланцюгів Маркова [Текст] / Д.М. Чабаненко // Вісник Черкаського університету. – 2010. – Вип. 173. – С. 90–102.
8. Чабаненко Д.М. Виявлення короткочасної та довготривалої пам'яті та прогнозування часових рядів методами складних ланцюгів Маркова [Текст] / Д.М. Чабаненко // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – 2010. – Вып. 31. – С. 184–190.
9. Горкуненко А.Б. Математичне моделювання економічних циклічних процесів для їх автоматизованого аналізу та прогнозу [Текст] / А.Б. Горкуненко, С.А. Лупенко, А.М. Луцків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький. – 2010. – № 3. – С. 269–275.
10. Горкуненко А.Б. Математичне моделювання та статистичний сумісний аналіз взаємопов'язаних економічних циклічних процесів [Текст] / А.Б. Горкуненко, А.М. Луцків, С.А. Лупенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 1. – С. 137–143.
11. Грекова Т.И. Построение трендовых моделей экономической системы [Текст] / Т.И. Грекова, Т.В. Филатова // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 292. – С. 294–297.

*Отримано 02.02.2012*