

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ІВАНА ФРАНКА

на правах рукопису

ПАНАСЮК ОКСАНА МИКОЛАЇВНА

УДК 621.391:519.22

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ  
КОЛИВАНЬ ЗІ СТОХАСТИЧНОЮ ПОВТОРЮВАНІСТЮ

Спеціальність 01.05.02 - математичне моделювання  
і обчислювальні методи в наукових дослідженнях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

ЛЬВІВ-1997

46. 38. 241

Дисертація в рукопис.

Робота виконана в Фізико-механічному інституті  
ім.Г.В.Карпенко НАН України.

Науковий керівник

доктор фізико-математичних наук  
ЯВОРСЬКИЙ ІГОР МИКОЛАЙОВИЧ

Офіційні опоненти:

1. Доктор фізико-математичних наук, професор  
ПОПОВ БОГДАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ
2. Доктор фізико-математичних наук  
ДЕНИСЬК ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ

Провідна установа - Інститут електродинаміки  
НАН України, від. №10, м.Київ

Захист відбудеться " 10 " липня 1997р. о 15.00 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 04.04.05 у Львівському  
державному університеті ім.Івана Франка за адресою: 290602,  
м.Львів, вул. Університетська, 1, ЛДУ, ауд. 261.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Львівського  
державного університету за адресою: м.Львів, вул. Драгоманова, 5.

Автореферат розіслано " 9 " червня 1997р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

кандидат фізико-математичних наук,

доцент

Б.А.Остудін

ЛІННБ України ім.В.Стефаніка



00737912 (Т)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

## Актуальність проблеми

Характерними рисами багатьох процесів, що мають місце і в природі, і в багатьох областях техніки, є їх коливний характер зі стохастичною повторюваністю. Для вивчення закономірностей таких коливних процесів доцільно застосовувати розклад вихідних часових рядів на простіші гармонічні складові. Математичним апаратом, що застосовується для досягнення цієї мети, є спектральний аналіз вказаних процесів. Він поєднує в собі два важливих теоретичних підходи: статистичний аналіз часових рядів і методи Фур'є-аналізу.

Залежно від структури коливань для проведення аналізу необхідно обрати відповідну модель процесу у вигляді періодичної чи майже періодичної функції, стаціонарного чи нестаціонарного випадкового процесу. У термінах цієї моделі конкретизується метод аналізу натурних даних і інтерпретуються результати цього аналізу. Статистичні закономірності коливних рухів традиційно описуються в термінах теорії стаціонарних випадкових процесів. Однак в межах цієї теорії для формулювання особливостей структури коливань необхідно накладати додаткові умови на вигляд кореляційної функції чи спектральної густини досліджуваного процесу. Недостатність стаціонарної теорії неодноразово відзначалась багатьма дослідниками. Адекватною математичною моделлю процесів, наділених водночас і стохастичністю і наближеною повторюваністю значень, може служити модель у вигляді періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП), вперше розглянута О.Коронкевичем, яка враховує періодичну нестаціонарність коливань. Ця модель охоплює як часткові випадки відомі моделі коливань зі стохастичною повторюваністю, що дозволяє аналізувати процеси не лише спеціальними, характерними

ЛІТЕ ім. В. Стефаніка  
АН України

для кожної моделі прийомами, а і в загальних для всіх представлень термінах. ПКВП є конструктивними моделями природньої ритміки.

Дисертація виконана в рамках плану науково-дослідних робіт Фізико-механічного інституту НАН України по темах: РБ-0296U007089 "Дослідження закономірностей та побудова ймовірнісних моделей коливань зі стохастичною повторюваністю на базі періодично корельованих випадкових процесів та їх узагальнень"; РБ-0296U006308 "Розробка елементів теорії і методів статистики стохастичних виміривальних сигналів для дослідження фізичних властивостей об'єктів і середовищ".

Метою даної роботи є розробка та дослідження методів когерентного спектрального аналізу часових рядів на базі ймовірнісної моделі у вигляді ПКВП та виявлення за допомогою цих методів основних закономірностей ритмічної структури типових фізичних процесів.

Для досягнення поставленої мети у дисертаційній роботі були поставлені і вирішені наступні задачі:

1. Розроблені методи оцінювання спектральних характеристик ПКВП при когерентному визначенні кореляційної функції.
2. Вивчені властивості статистичних оцінок спектральних характеристик ПКВП з метою зменшення методичних помилок обробки і аналізу даних і отримання достовірних оцінок; проведена апроксимація спектральних оцінок і на цій основі дано аналіз їх якості.
3. Досліджене спектрально-кореляційна структура параметричних моделей ритміки, розглянуті властивості оцінок їх спектральних характеристик.
4. Розроблений програмний комплекс для реалізації обробки і аналізу даних, який дає можливість проводити когерентний непараметричний спектральний аналіз коливань зі стохастичною повторюваністю.

ність з оцінок якості результатів для типових параметричних моделей стохастичних коливань.

5. Подані методичні рекомендації щодо вибору параметрів обробки реальних сигналів: точки усічення корелограми  $u_{\max}$ , довжини реалізації  $\theta$ , кроку дискретизації по часу  $\Delta t = h$  при дискретній обробці.

Методи дослідження. При розв'язку сформульованих в дисертаційній роботі задач застосовувались методи теорії випадкових процесів і математичної статистики. Також використовувались загальні методи математичного аналізу, обчислювальної математики і програмування. Теоретичний аналіз у роботі поєднується з розробкою алгоритмів статистичної обробки часових рядів коливань і побудовою пакету прикладних програм.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Досліджено непараметричні спектральні оцінки, отримані на базі Фур'є-перетворення несиметричної кореляційної функції в когерентному наближенні для різних способів центрування реалізації.
2. Отримано асимптотичні вирази для визначення зміщення і дисперсії спектральних оцінок.
3. Визначено вплив параметрів обробки (тривалості реалізації  $\theta$ , точки усічення корелограми  $u_{\max}$  та кроків дискретизації по часу  $h = \Delta t$  і по зсуву  $\Delta u$  для дискретного випадку) на досліджувані непараметричні спектральні оцінки.
4. Побудовано частинні параметричні представлення коливань зі стохастичною повторюваністю на базі загальної параметричної моделі ПКВП.
5. Досліджено спектрально-кореляційну структуру частинних параметричних моделей для конкретних апроксимацій.

6. Проведено порівняльний аналіз показників якості (зміщення  $\epsilon$ , дисперсії  $D$ , середньоквадратичного відхилення  $\sigma$ ) для частинних параметричних моделей, отриманих шляхом безпосереднього інтегрування апроксимативних виразів кореляційних характеристик і за асимптотичними формулами. Визначені межі застосування асимптотичних виразів для обчислення зміщення і дисперсії спектральної густини.

7. Досліджено спектрально-кореляційну структуру часових рядів об'ємної концентрації радону, який виділяється з земної кори. Показано можливість вичерпного опису даного процесу в рамках простої квадратурної моделі.

Достовірність основних наукових положень і отриманих результатів забезпечується коректною математичною постановкою і строгим розв'язанням задач статистичного оцінювання і отриманням результатів, що узагальнюють вже відомі раніше.

Основні положення, які виносяться на захист:

1. Методи неперервного і дискретного непараметричного спектрально-го оцінювання ПКВП.
2. Статистичні характеристики спектральних оцінок ПКВП.
3. Достовірність когерентного спектрального аналізу часових рядів з певною параметричною структурою.
4. Статистична структура стохастичної повторюваності зміни об'ємної концентрації радону в наближенні ймовірнісної квадратурної моделі.

Практична цінність. Отримані в дисертаційній роботі теоретичні співвідношення, які описують методи побудови оцінок ймовірнісних характеристик ПКВП, покладено в основу алгоритмів спектрального аналізу коливань зі стохастичною повторюваністю. Розроблені алгоритми реалізовані у вигляді комплексу програм, які дозволяють

проводити обробку експериментальних даних різноманітних коливних процесів методами ПКВП.

Створене програмне забезпечення застосовувалось при обробці часових рядів зміни об'ємної концентрації радону, дослідженні сезонної та добової ритміки геофізичних процесів, аналізі сигналів вібрацій.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались на міжнародних симпозиумах "Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів. ІМОВСП-92 (Харків-Тернопіль, 1992); "Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів. ІМОВСП-93" (Львів-Харків-Тернопіль, 1993); другий Всеукраїнській міжнародній конференції "УкрОБРАЗ'94" (Київ, 1994); другий Українській конференції з автоматичного керування "Автоматика-95" (Львів, ФМІ НАН України, 1995); Всеукраїнській науковій конференції "Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях" (Львів, Львівське Політехніка, 1995); другий Всеросійській за участю країн СНД конференції "Распознавание образов и обработка изображений: новые информационные технологии РОАИ-75" (Ульяновск, 1995); 5-й Міжнародній конференції "Обработка сигналов в системах двусторонней телефонной связи" (Новосибірськ, 1995).

Дисертаційна робота в цілому доповідалась та обговорювалась на наукових семінарах відділу відбору та обробки стохастичних сигналів Фізико-механічного інституту ім.Г.В.Карпенка НАН України.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 робіт.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х глав, висновків і додатку. Вона містить 177 сторінок машинописного тексту, 21 рисунок і бібліографічний список, що складеться з 134 літературних джерел.

## КОРОТКИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.

У вступі коротко характеризується стан проблеми, яка складає предмет дослідження, обґрунтовується актуальність теми дисертації. Сформульовано мету та основні завдання наукового дослідження. Подана анотація дисертації по розділах.

І-ша глава даної роботи присвячена огляду проблеми спектрального аналізу коливань. В цій главі коротко розглядаються питання гармонічного аналізу періодичних функцій, спектрально-кореляційного аналізу стаціонарних випадкових функцій, статистичні оцінки та їх властивості, а також подається детальний огляд моделі коливань у вигляді ПКВП.

У 2-й главі аналізуються спектральні оцінки періодично корельованих випадкових процесів, побудовані на основі Фур'є-перетворень оцінок кореляційних характеристик, обчислених когерентним способом. Розглядаються оцінки змінної спектральної густини і спектральних компонентів для неперервних і дискретних реалізацій, їх зміщення і дисперсія, а також вплив згладжування і величини інтервалу дискретизації на якість спектральних оцінок. Отримані асимптотичні формули для обчислення величини зміщення і дисперсії спектральних оцінок, на основі яких робиться висновок щодо статистичної точності отриманих результатів.

Всі основні положення даного розділу підсумовані у вигляді наступних теорем:

**Теорема 1.** Нехай  $\xi(t)$  - гаусовий періодично корельований випадковий процес, кореляційна функція якого для всіх  $t \in \mathbb{R}$  задовільняє умові

$$\int_{-\infty}^{\infty} |b(t,u)| du < \infty. \quad (1)$$

Тоді статистики

$$\hat{b}(t, u) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[ \xi(t+nT) - \hat{m}(t+nT) \right] \left[ \xi(t+u+nT) - \hat{m}(t+u+nT) \right], \quad (2)$$

$$\hat{b}(t, u) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[ \xi(t+nT)\xi(t+u+nT) - \hat{m}(t+nT)\hat{m}(t+u+nT) \right], \quad (3)$$

$$\hat{b}(t, u) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \xi(t+nT)\xi(t+u+nT) - \hat{m}(t)\hat{m}(t+u), \quad (4)$$

де

$$\hat{m}(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \xi(t+nT),$$

є асимптотично незміщеними і слушними оцінками кореляційної функції  $b(t, u)$ .

**Теорема 2.** Якщо кореляційна функція гаусового періодично корельованого випадкового процесу  $\xi(t)$  задовільняє умові (1), то статистики

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{b}(t, u) \exp(-ik\frac{2\pi}{T}t) dt, \quad k \in \mathbb{Z},$$

де  $\hat{b}(t, u)$  визначається виразами (2)-(4), є асимптотично незміщеними і слушними оцінками кореляційних компонентів  $B_k(u)$ .

**Теорема 3.** Нехай кореляційна функція гаусового періодично корельованого процесу задовільняє умові (1). Тоді статистике

$$\hat{f}(\omega, t) = (2\pi)^{-1} \int_{-u_m}^{u_m} \hat{b}(t, u) \exp(-i\omega u) du,$$

де  $\hat{b}(t, u)$  визначається виразами (2)-(4), а  $u_m \rightarrow \infty$ , на частотах  $\omega = k\frac{2\pi}{T}$ ,  $k \in \mathbb{Z}$  дає зміщені і неслухні оцінки спектральної густини для всіх  $\omega \in \mathbb{R}$ , причому

$$E\hat{f}(k\frac{2\pi}{T}, t) = f(k\frac{2\pi}{T}, t) + O(N^{-1}),$$

$$D\hat{f}(\omega, t) = |f(\omega, t)|^2 + 2f_0(\omega) \sum_{k \in \mathbb{Z}} \operatorname{Re} f(\omega - k\frac{2\pi}{T}, t) + O(N^{-1})$$

( $E$  - оператор усереднення по ансамблю,  $D[\hat{f}(\omega, t)]$  - дисперсія оцінки  $\hat{f}(\omega, t)$ ).

Теорема 4. Для гаусового періодично корельованого випадкового процесу  $\xi(t)$ , кореляційна функція якого задовільняє умові (1), статистики

$$\hat{f}(\omega, t) = (2\pi)^{-1} \int_{-u_m}^{u_m} \hat{b}(t, u) w(u) \exp(-i\omega u) du, \quad (5)$$

$$\hat{f}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{f}(t, u) \exp(-ik \frac{2\pi}{T} t) dt, \quad (6)$$

де  $\hat{b}(t, u)$  є оцінками виду (2)-(4), а  $w(-u) = w(u)$ ,  $w(0) = 1$ ,  $w(u) = 0$ , при  $|u| > u_m$ , є слушними оцінками змінної спектральної густини  $f(\omega, t)$  і спектральних компонентів  $f_k(\omega)$ , причому для всіх  $\omega$ , при яких  $f(\omega, t) = f(\omega, t) + O(\Delta\omega)$ ,  $f_k(\omega) = f_k(\omega) + O(\Delta\omega)$ , де  $\Delta\omega = W^{-1}(0)$ , а  $W(\omega) = (2\pi)^{-1} \int_{-u_m}^{u_m} w^2(u) \exp(-i\omega u) du$ , дисперсії оцінок мають вигляд

$$D[\hat{f}(\omega, t)] = \frac{2\pi}{NT} \left[ |f(\omega, t)|^2 \sum_{n \in \mathbb{Z}} W(2\omega - n \frac{2\pi}{T}) + W(0) f_0(\omega) \sum_{n \in \mathbb{Z}} \operatorname{Re} f(\omega - n \frac{2\pi}{T}, t) \right] + O(N^{-1}),$$

$$D[\hat{f}_k(\omega)] = \frac{2\pi}{NT} \left[ \sum_{p=-N_2}^{N_2} f_p(-\omega) f_{-p}(\omega) W[2\omega + (p-k) \frac{2\pi}{T}] + f_0(\omega) f_0(\omega - k \frac{2\pi}{T}) W(0) \right] + O(N^{-1}).$$

Теорема 5. Для гаусового періодично корельованого випадкового процесу з кореляційною функцією (1) статистики

$$\hat{f}(\omega, t) = \frac{\Delta u}{2\pi} \sum_{n=-L}^{L-1} w(n\Delta u) \hat{b}(t, n\Delta u) \exp(-i\omega n\Delta u),$$

$$\hat{f}_k(\omega) = \frac{\Delta u}{2\pi} \sum_{n=-L}^{L-1} w(n\Delta u) \hat{B}_k(n\Delta u) \exp(-i\omega n\Delta u),$$

де  $L = u_m / \Delta u$ ,  $\Delta u$  - крок дискретизації за зсувом,  $\epsilon$  слухними оцінками змінної спектральної густини  $f(\omega, t)$  і спектральних компонентів  $f_k(\omega)$ , і якщо  $f(\omega, t) = 0$  і  $f_k(\omega) = 0$  для  $|\omega| > \omega_{\max}$  то при  $\Delta u < \pi / \omega_{\max}$  їх дисперсії мають той самий порядок малості, що й дисперсії неперервних оцінок (5)-(6).

3-тя глава присвячена розгляду спектрально-кореляційної структури частинних параметричних моделей ПКВП, які можуть бути одержані із загального представлення ПКВП

$$\xi(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \xi_k(t) \exp(ik\omega_0 t), \quad (7)$$

де  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$  - основна частота ритму.

Математичні сподівання  $m_k = E\xi_k(t)$  визначають Фур'є-компоненти функції  $m(t)$ , з кореляції між  $\xi_k(t)$  формують структуру Фур'є-компонентів кореляційної функції ПКВП  $b(t, u)$ . При цьому автокореляційні функції  $D_{kk}(u) = E \overline{\xi_k(t) \xi_k(t+u)}$ ,  $\overline{\xi_k(t)} = \xi_k(t) - m_k$  визначають нульовий кореляційний компонент

$$B_k(u) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} D_{kk}(u) \exp(-ik\omega_0 u),$$

з взаємні кореляційні функції складових, номери яких відрізняються на 1  $D_{k+1, k}(u) = E \overline{\xi_{k+1}(t) \xi_k(t+u)}$  - кореляційні компоненти номерів 1

$$B_1(u) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} D_{k+1, k}(u) \exp(-ik\omega_0 u).$$

Частинні параметричні моделі ПКВП, виводяться з вирезу (7). Адитивна модель  $\xi(t) = \eta(t) + f(t)$ , де  $\eta(t)$  - стаціонарний в широкому розумінні процес,  $f(t)$  - періодичне не випадкова функція, моделює тривіальний випадок ритміки, коли періодично змінюється лише математичне сподівання. Мультиплікативна модель  $\xi(t) = \eta(t)f(t)$  враховує

лише амплітудну модуляцію коливань. Найпростішою моделлю ПКВП, яка враховує також і фазову модуляцію є проста квадратурна модель  $\xi(t) = \xi^c(t) \cos \omega_0 t + \xi^s(t) \sin \omega_0 t$ , для якої  $D_{cc}(u) \neq D_{ss}(u)$  і  $D_{cs}(u) \neq 0$ . Окрім того практичний інтерес представляє також модель із переважачими кореляціями, коли до уваги приймаються лише кореляційні зв'язки між нульовим та вищими компонентами.

у 4-й главі проводиться детальний аналіз показників якості оцінювання кореляційних і спектральних характеристик для типових параметричних структур ПКВП. Визначено вклад спотворень, внесених обмеження довжини обробленої реалізації  $\theta$  і згладженям, визначеним точкою усічення корелограми  $u_{max}$ . Доведено, що при побудові спектрально-кореляційних оцінок ПКВП доцільно застосувати спосіб центрування реалізації  $\xi(t)$  на основі статистики (2). В інших випадках періодичний характер кореляційної функції ПКВП  $b(t, u)$  приводить до появи суттєвих спотворень оцінок вже на рівні кореляційного аналізу. Отримані результати апробуються при аналізі спектрально-кореляційної структури часових рядів зміни об'ємної концентрації радону, який виділяється з земної кори.

#### ВИСНОВКИ.

В роботі сформульовано і вирішено задачу спектрального оцінювання коливань з ритмічною структурою, виходячи з ймовірнісної моделі ПКВП. Відповідно до запропонованих математичних моделей проведено аналіз структури часових рядів зміни об'ємної концентрації радону, що виділяється з земної кори.

Найвагоміші результати дисертації:

1. Розроблено і досліджено методи непараметричного спектрального аналізу неперервних та дискретних реалізацій.
2. Сформульовано і доведено теореми про умови асимптотичної незмі-

щності і слушності оцінок кореляційних і спектральних характеристик ПКВП.

3. Побудовано і проаналізовано непараметричні спектральні оцінки, виведено асимптотичні формули для обчислення наближених значень зміщення і дисперсії оцінок спектральних характеристик для неперервних і дискретних реалізацій.

4. Визначено вплив параметрів обробки на оцінки спектральних характеристик ПКВП.

5. Проаналізовано кореляційно-спектральну структуру типових параметричних представлень ПКВП.

6. Вперше виведено аналітичні вирази для показників якості параметричних оцінок ймовірнісних характеристик ПКВП для апроксимацій виду  $D_{k1} = D_{k1} \exp(-\alpha_{k1}|u|)$  і проведено їх порівняльний аналіз із відповідними показниками, отриманими за асимптотичними виразами.

7. На прикладі аналізу часового ряду зміни об'ємної концентрації радону, що виділяється з земної кори, показано, що побудовані параметричні моделі ПКВП адекватно відображають частотну структуру даного фізичного процесу і можуть бути застосовані для спектрального аналізу коливань зі стохастичною повторюваністю.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНІ У РОБОТАХ:

1. Панасюк О.М., Яворський І.М. Властивості оцінок спектральних характеристик періодично корельованих випадкових процесів // Ймовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів. - Харків: вид-во ХІРЕ. - 1993. - С.111-114.

2. Панасюк О.М., Яворський І.М. Оцінювання компонентів спектральної густини періодично корельованих випадкових процесів // Ймовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів. - Львів-Харків-Тернопіль: вид. Терн. приладобуд. ін-ту. - 1993. -

С.40-44.

3. Панасик О.Н., Яворський И.Н. Спектральний аналіз ритмічної структури сигналів со стохастической повторяемостью //Тез. Докл. III міжнарод. н.-т. конф. "Методи представлення и обробки случайних сигналів и полів". - Харків: изд-во ХИРЭ. - 1993. - С.108.

4. Панасик О.Н., Яворський И.Н. Спектральний аналіз сигналів со стохастической повторяемостью //Изв. ВУЗОВ. Радиоелектроника. - 1994. - №12. - С.47-57.

5.Панасик О.М., Яворський І.М. Оцінювання змінної спектральної густини часових рядів з ритмічною структурою // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів: Праці Другої Всеукраїнської міжнар. конф. УкрОБРАЗ'94. - Київ: Інститут кібернетики НАН України. - 1994. - С.63-66.

6.Панасик О.М., Яворський І.М. Пакет програм для параметричного спектрального аналізу ритмічних сигналів //Тези Другої Української конференції з автоматичного керування "АВТОМАТИКА-95". - Львів: ФМІ НАН України. - 1995. - т.4. - С.64.

7.Панасик О.М., Яворський І.М. Комп'ютерні технології для когерентного спектрального аналізу ритмічних сигналів // Тези Всеукраїнської наукової конференції "Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях". - Львів: Держ. Університет "Львівська політехніка". - 1995. - С.127.

8.Панасик О.Н., Яворський И.Н. Свойства оценок спектральных компонентов периодически коррелированных случайных процессов // Труды 2-й Всероссийской с участием стран СНГ конференции "Распознавание образов и обработка изображений: новые информационные технологии РОАИ-95". - Ульяновск: Ульян. политехн. университет. - 1995. - С.87.

The model of oscillations with stochastic repetition in form of periodic correlated random processes (PCRP) is considered in this thesis. The methods of coherent nonparametric spectral analysis are developed on base of proposed model. Analytical expressions for calculation of displacement and dispersion of spectral estimation are derived. The analysis of reliability of coherent spectral image of time-series with typical parametric structure was realized.

Панасик О.Н. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ СО СТОХАСТИЧЕСКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТЬЮ. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы в научных исследованиях. - Львовский государственный университет им.И.Франко. - Львов, 1997.

В работе рассмотрена модель колебаний со стохастической повторяемостью в виде периодически коррелированного процесса (ПКСП). На основании данной модели разработаны методы когерентного непараметрического спектрального анализа. Выведены аналитические соотношения для вычисления смещения и дисперсии спектральных оценок. Проведен анализ достоверности когерентной спектральной обработки временных рядов с типичной параметрической структурой.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інтегральне перетворення Фур'є, кореляційна функція, кореляційні компоненти, змінна спектральна густина, спектральні компоненти, спектральні оцінки, часові ряди.

*О.Н. Панасик*

"ІНФОРМСЕРВІС", м.Львів, вул. Ів.Франка, 15.

Замовлення №68. Тираж 100 екз.

433682

9. Панасюк О.Н., Яворский И. Программный комплекс параметров ритмического спектрального анализа случайных процессов, наделенных ритмичной // Тез. 5-й Межрегиональной конф. "Обработка сигналов в системах двусторонней телеф. связи". - Москва-Новосибирск: Московское научно-техническое общ-во радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. - 1995. - С. 43-44.

10. Панасюк О.Н., Яворский И.Н. Свойства оценок спектральных компонентов периодически коррелированных случайных процессов // Электронное моделирование. - 1996. - т. 18, № 2. - С. 17-29.

11. Панасюк О.Н., Яворский И.Н. Когерентный спектральный анализ временных рядов с периодической вероятностной структурой // Изв. ВУЗОВ. Радиоэлектроника. - 1997. - № 7.

12. Панасюк О.М., Яворский И.М. Оцінювання спектральних характеристик часових рядів з ритмічною структурою // Доповіді НАН України. - 1997. - № 6.

### ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК ПРЕТЕНДЕНТА:

Всі результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. В публікаціях, які написані у співавторстві, дисертантові належать: [1,2,3,4,5,6,9,11,12] вивід основних аналітичних співвідношень, [7,8,10] алгоритми розрахунку і їх програмна реалізація.

Panasjuk O.M. THE DEVELOPMENT AND THE RESEARCH OF METHODS OF THE SPECTRAL ANALYSIS OF OSCILLATIONS WITH STOCHASTIC REPETITION.- Manuscript. The dissertation to the obtaining of the scientific degree of the Candidate of physical and mathematical sciences on the speciality 01.05.02 - mathematical modelling and computational methods in scientific researches. - Ivan Franko Lviv State University. - Lviv, 1997.